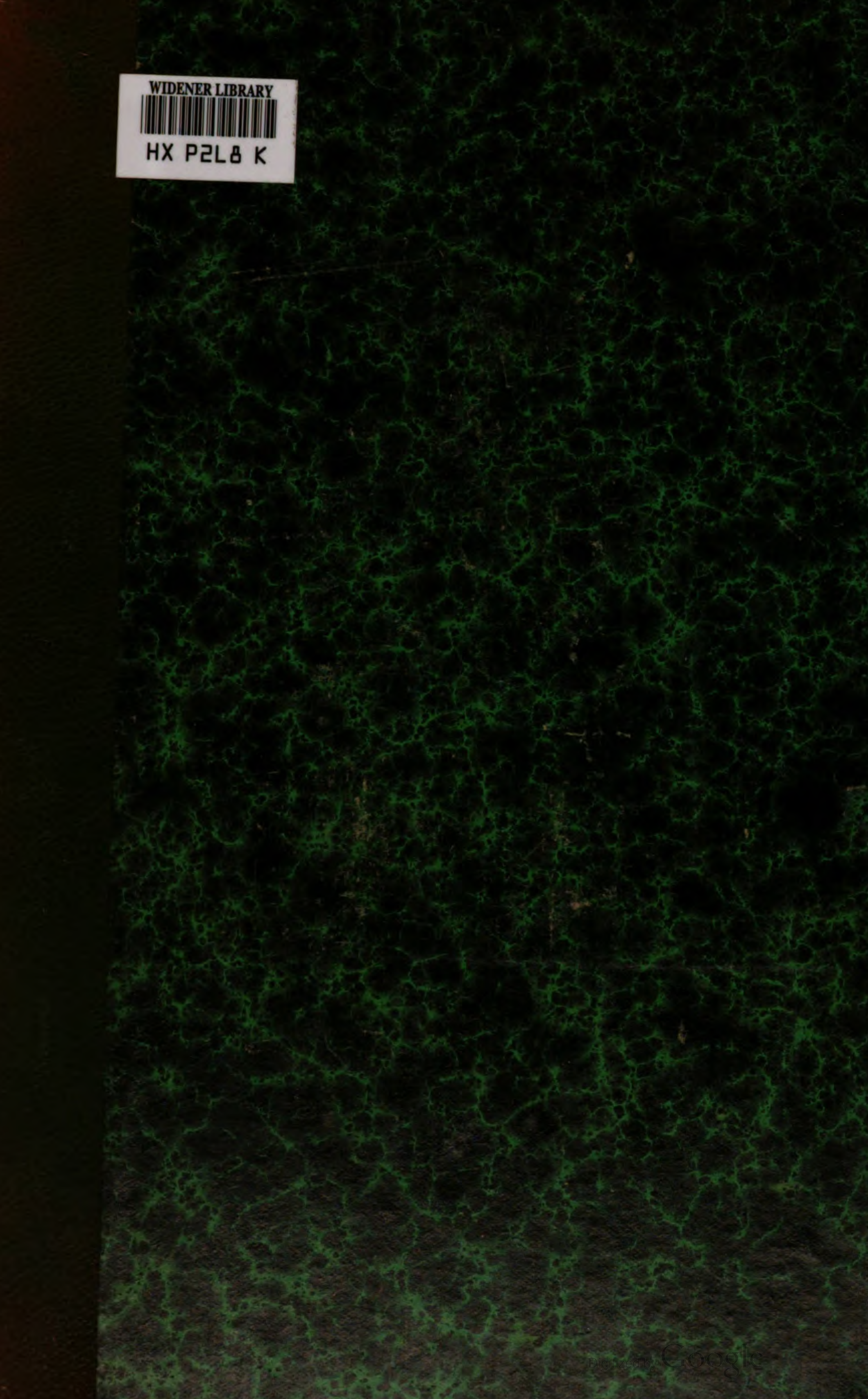
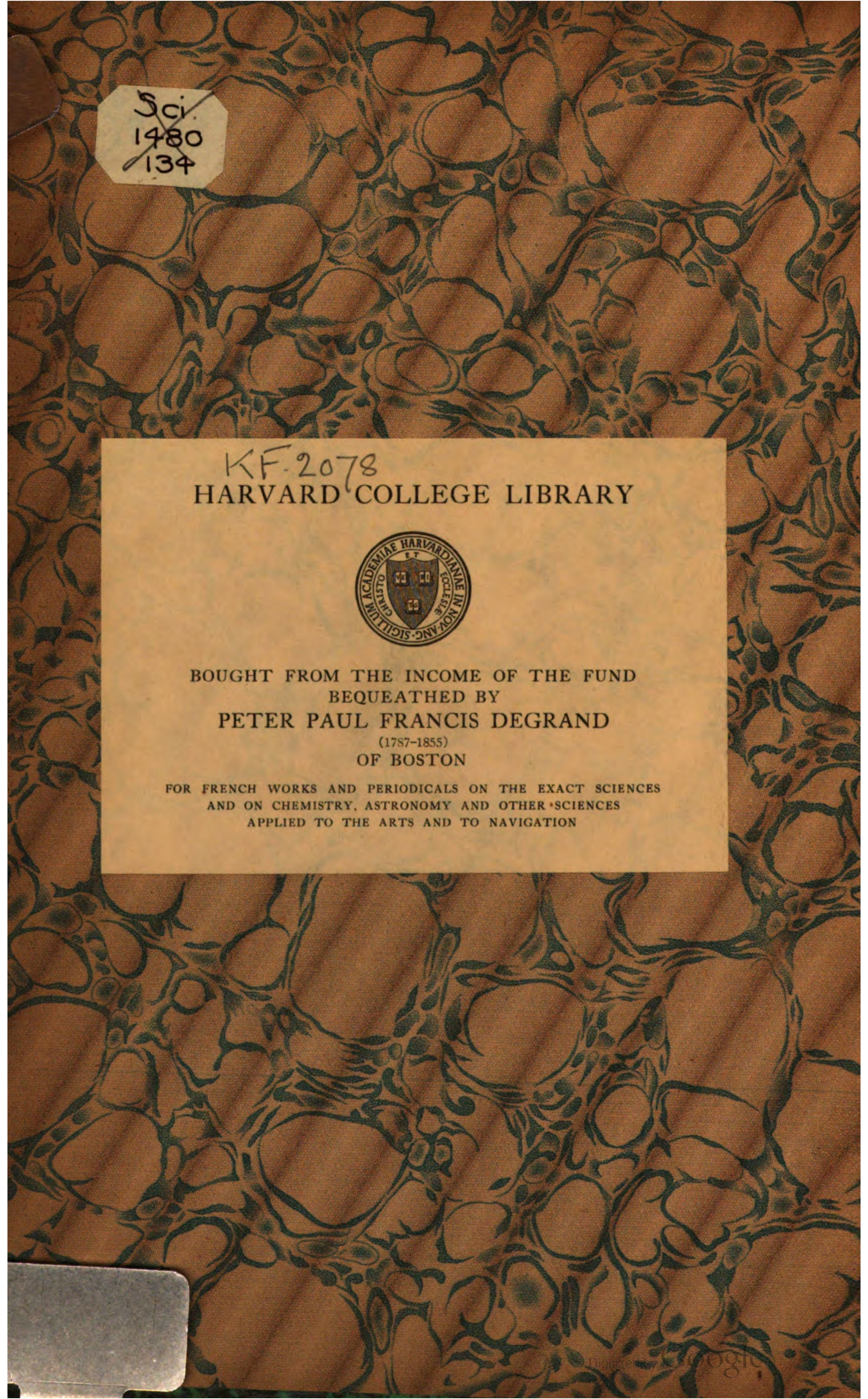

WIDENER LIBRARY
HX P2L8 K


Sci 1480 134
KF 2078
HARVARD COLLEGE LIBRARY
VE RI TAS
CHRISTO ET ECCLESIAE
SIGILLUM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV·ANG·
BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787–1855)
OF BOSTON
FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION
Digitized by Google



SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

ANNÉE 1889

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1889

PREMIER VOLUME

PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

10, CITÉ ROUGEMONT, 10

—

1889

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

JANVIER 1889

N° 1

Sommaire des séances du mois de janvier 1889 :

1° *Installation de Membres du Bureau et du Comité.* Discours de MM. F. Reymond et G. Eiffel (séance du 4 janvier, page 8);

2° *Décès* de MM. A. Neujean, H. Fouaillet, E. Piaron de Mondesir, H. Rudler, J. Rist et E. Vautier (séance des 4 et 8 janvier, pages 46 et 48);

3° *Décorations et nominations* (séances des 4 et 18 janvier, pages 46 et 49);

4° *Nomination de membres honoraires,* MM. Barlow et Hirn (séance du 4 janvier, page 47);

5° *Notice nécrologique* sur M. P. E. Vautier, par M. Cornuault (séance du 18 janvier, page 48);

6° *Concours pour l'obtention du prix Bressa,* lettre de la Société de l'Académie royale des sciences de Turin (séance du 18 janvier, page 49);

7° *Don de volumes,* par M. Raffard (séance du 18 janvier, page 50);

8° *Lettre* de M. Vigreux, proposant de faire l'analyse de l'ouvrage offert par MM. Bernard et Cᵒ, intitulé : *Stabilité des constructions en fer et en acier et calcul de leurs dimensions,* par M. J. Weyrauch (séance du 18 janvier, page 50);

9° *Le desséchement du lac Copaïs,* par M. Alfred Durand-Claye, ouvrage offert par Mme A. Durand-Claye et présenté par M. E. Trélat (séance du 18 janvier, page 50);

10° *Traction funiculaire des bateaux sur les canaux,* système Maurice

Lévy (compte rendu de la visite faite à Joinville-le-Pont), par M. A. Brüll, et observations de MM. Maurice Lévy, Delfosse, Contamin et G. Eiffel (séance du 18 janvier, page 50).

Pendant le mois de janvier, la Société a reçu :

30323 — Du Comité central des houillères de France. Une brochure relative à la *Loi sur les accidents du travail* (2 exempl.). — Paris, Siège de l'Association, 1888.

30324 — De M.A. Lemut, membre de la Société. Brochure de M. Coupry sur *Les cimetières barbares du 19e siècle remplacés par les cimetières de l'avenir.* — Nantes, Guéneux, 1888.

30325 — De M. R. Arnoux. *Notice sur la machine à disque de M. Desroziers.* — Paris, Masson, 1888.

30326 — De M. Faure, membre de la Société. Brochure de M. Kessler sur le *Régime des indemnités pour les dommages causés par l'industrie.* — Clermont-Ferrand, chez l'auteur, 1888.

30327 — De M. de Retz, membre de la Société. *Mémoire sur les usines de la région de Longwy visitées par les membres du Congrès de l'industrie minérale de Saint-Étienne en 1887.* — Saint-Etienne, Lantz, 1888.

30328 — De M. Norbert de Landtsheer. Sa brochure sur *L'influence du rouissage et du teillage sur l'avenir de l'industrie linière en Belgique.* — Paris, Lucotte et Cadoux, 1888.

30329 — De MM. Norbert de Landtsheer et Royer. *Lettre à MM. les Membres du Jury du Concours international de la Ramie*, en réponse au Rapport présenté par la Société de la Ramie française. — Paris, Lucotte et Cadoux, 1888.

30330 — De MM. J.-G. Bideau et Cie. *Notice sur les courroies de transmission en textile et caoutchouc* (2 exempl.). — Paris, Noailles, 1888.

30331 — De M. S. Colle, membre de la Société. *Etude sommaire des efforts et moyens qui s'imposent à tous les intéressés du Canal de Panama pour achever et conserver l'entreprise.* — Sancoins-Bachelier-Rhul, 1889,

30323 — De MM. E. Royer et N. de Landtsheer. Réponse à l'article paru dans le journal l'*Industrie progressive à propos du concours de la Ramie.* — Chez les auteurs, Paris, 1888.

30333 — De M. D. Pablo de Alzola. Sa brochure relative au *Ferro-carriles de Via Ancha y de Via Estrecha.* — Madrid, Gregorio Juste, 1885.

30334 — Du même auteur. Appendice à la brochure ci-dessus.

30335 — Collection de 7 photographies de Barcelone et de Bilbao.

30336 — De M. J.-B. Marsaut. Sa brochure sur *Les Caisses de secours et de prévoyance à la Compagnie houillère de Bessèges.* — Paris, Chaix, 1889.

30337 — De M. H. Le Soudier. Carte de la répartition et de l'emplacement des troupes de l'armée française pendant l'année 1889. — Paris, Le Soudier, 1889.

30338 — De Mme A. Durand-Claye. *Le desséchement du lac Copaïs (Grèce).* — Paris, Imprimerie Nationale, 1888.

30339 — De M. Raffard, membre de la Société. Trois volumes relatifs à l'Association des propriétaires de machines à vapeur. Ces volumes, qui avaient appartenu à la Société, ont té retrouvés et rachetés par M. Raffard qui en a fait don à la Bibliothèque.

Les membres nouvellement admis comme membres sociétaires sont :

MM.	Bernard,	présenté par MM.	Brunon, D. Casalonga et G. Casalonga.
	Wallut,	—	Carimantrand, Lévi et Mallet.
	Salguès,	—	Cauvet, J. Fleury et Gassaud.
	Taconnet,	—	Bobin, Cerbelaud et Hauet.
	Kock,	—	Carimantrand, Lévi et Mallet.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JANVIER 1889

Séance du 4 janvier 1889.

PRÉSIDENCE DE M. F. REYMOND.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. REYMOND, président sortant, prononce le discours suivant :

MES CHERS COLLÈGUES,

L'histoire de notre quarante et unième année d'existence n'aura à enregistrer aucun de ces grands événements qui s'identifient avec une date et marquent avec elle en traits profonds dans la vie d'une Société.

Année modeste, chargée de préparer et d'assurer les succès de la sœur qui la remplace, 88 ne pouvait être que la veillée des armes des grands combats et des triomphes de 89.

L'œuvre habituelle s'est, du reste, accomplie dans les conditions normales et régulières que ni les préoccupations ni les préparatifs de la solennité prochaine ne nous donnaient le droit de modifier.

C'est de cette œuvre de chaque jour que j'ai à vous rendre compte aujourd'hui.

Mais avant de dire ce qui a été fait dans l'année, j'ai à rappeler ceux qui ne sont plus, j'ai à redire, en les accompagnant d'un souvenir et d'un regret, les noms des membres que la grande famille a perdus.

Ils sont nombreux ! trente-six en tout : sur lesquels, vingt-six ont fait l'objet d'une note spéciale insérée dans les procès-verbaux de nos séances. Ce sont :

MM. Eschger — de Régel — Ubaghs — Hourier — Desmazures — Meynier — Boistel — Ganneron — Bornet — Brunette — Sulzberger-Ziégler — Detraux — Blard — Hubner — Caillé — Langlois — Rambaud — Blythe — Clerc — Mallié — Jury — Hamelin — Leseur — Hutchinson — Gislain — Pichet, — Crespin.

Les dix autres collègues dont la carrière a été plus spécialement retracée dans les notices ou discours insérés dans nos Bulletins, sont :

MM. Ser — Robert — Clausel de Coussergues — Crampton — Hervé-Mangon — Delebecque — Brault — Guibal — Cabanellas — Coignet.

Ceux qui nous ont quittés et dont nous tenons à honneur de saluer une dernière fois la mémoire ont fait place à d'autres plus nombreux encore.

Aux cent quatorze nouveaux collaborateurs que vous avez admis parmi vous et à l'ensemble desquels j'adresse, en votre nom, la bienvenue, il me sera permis de rappeler que, parmi ceux que 1888 nous a enlevés et dont leurs rangs serrés comblent déjà les vides, il en est que le nombre ne suffit pas à remplacer et dans le passé desquels les jeunes et les vaillants peuvent utilement chercher des inspirations et des exemples ; je me borne à citer : — des professeurs appliquant eux-mêmes avec succès les théories qu'ils enseignent, tels que Ser et Guibal ; des techniciens qui s'appelaient Delebecque et Crampton ; des chercheurs érudits comme Cabanellas ; un industriel au génie inventif devenu, après sa mort, bienfaiteur de la Société, François Coignet ; et ce savant, cet aimable esprit philosophique, Hervé-Mangon ! *(Très bien! Très bien!)*

Les exemples et les encouragements à bien faire ne manqueront pas, du reste, à nos nouveaux collègues et l'énumération des questions traitées pendant l'année que le règlement impose avec raison au Président sortant, les convaincra, comme en sont convaincus ceux qui suivent assidûment nos travaux, que, dans l'ordre scientifique et industriel, il y a place ici pour toutes les bonnes volontés, pour toutes les compétences.

Nous suivrons dans ce résumé des travaux de nos vingt-quatre séances la division établie par le règlement en quatre sections, sauf à ranger dans une cinquième catégorie celles des questions qui ne se rattachent pas essentiellement à l'une des sections réglementaires et en ayant soin de présenter tout ce qui relève d'un même groupe dans l'ordre chronologique.

1° *Travaux publics.* — *Constructions.* — Dans une de nos premières séances, M. Bonnami nous a présenté un mémoire des plus substantiels sur la fabrication, la prise et le durcissement des ciments et des chaux hydrauliques. Il nous a donné sur cette question difficile, encore incomplètement élucidée, une théorie dont tireront profit beaucoup d'entre nous. J'ai pu constater, pour ma part, qu'elle avait frappé d'une façon toute spéciale M. Guillain, directeur des Routes et de la Navigation au Ministère des travaux publics, qui assistait à la séance où M. Bonnami a exposé sa théorie, et il y a lieu d'espérer que les Ingénieurs de l'État, à qui appartiennent le choix et la surveillance des produits hydrauliques à employer dans les grands travaux y trouveront d'utiles indications.

La Société a consacré plusieurs séances à la grosse question des ports maritimes et des estuaires à marées.

Parmi les travaux de cet ordre qui ne comportent pas de longs commentaires, nous vous rappellerons la note de M. Boudenoot sur une brochure de M. Alfred Piat, traitant du projet de création, à Cabourg, d'un port de guerre et de commerce en eau profonde.

M. Canovetti nous a présenté un mémoire sur les travaux du port de Venise résumant les discussions d'un congrès récent des Ingénieurs et des Architectes italiens.

Deux communications nous ont été faites sur les ports de l'île de La

Réunion, l'une, par M. de Cordemoy sur le petit port de Saint-Pierre, et l'autre par nos anciens Présidents, MM. Lavalley et Molinos, sur le port de la Pointe des Galets, dont les jetées ont résisté depuis six ans aux violents raz-de-marée qui faisaient considérer comme presque impossible l'établissement d'ouvrages durables sur ce littoral de l'Océan Indien.

M. de Cordemoy nous a dit quelques mots sur l'amélioration de la rivière de Bilbao, d'après les intéressants mémoires de M. de Churruca, auteur du projet et Ingénieur des travaux.

La Société a entendu des communications nombreuses et importantes sur l'amélioration de la basse Seine et du port du Havre, dont l'exécution, qu'on disait prochaine, il y a six mois, pourrait bien, devant les hésitations de ceux dont l'assentiment est nécessaire, subir encore quelques retards.

Nous avons entendu, à cette occasion, deux Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées, M. Quinette de Rochemont, du port du Havre, et M. Mengin, chargé des travaux de la Seine entre Rouen et la mer, autorisés l'un et l'autre, par le ministre des Travaux publics, à venir discuter avec nous les questions techniques si complexes qui se rattachent aux projets dont le Parlement est saisi.

La discussion, à laquelle assistaient plusieurs députés et, parmi eux, le rapporteur du projet de loi à la Chambre, M. Pesson, a eu toute l'ampleur que comporte un pareil sujet; souvent brillante, toujours courtoise, elle ne parait pas avoir modifié les opinions très nettement opposées de ceux qui y ont pris part, et a laissé dans l'esprit de ceux qui n'ont pas d'idée arrêtée sur ce grave sujet l'impression qu'un projet, d'où dépend le sort d'un de nos plus grands ports et d'une de nos plus belles voies fluviales, vaut la peine qu'on l'examine à nouveau. Tous ceux-là sont unanimes à penser qu'avant de prendre une décision définitive, on cherche à mettre au moins d'accord, sur le terrain des faits, des Ingénieurs dont, malgré leurs affirmations et leurs conclusions absolument contradictoires, on ne saurait contester ni la bonne foi, ni la valeur professionnelle.

C'est la communication de M. R. Le Brun sur l'amélioration des établissements maritimes de la Seine qui a été le point de départ de cette étude en commun.

Le mémoire très étudié de M. Le Brun traite de deux séries de travaux qui, quoique distincts, ont des points de contact et des liens intimes : l'amélioration de la Seine et le port du Havre. Il a conclu en faveur du projet du Comité d'initiative de Rouen, comportant la fixation du chenal de la Seine devant le Havre, à l'aide du môle projeté par M. l'Inspecteur général Partiot.

M. Quinette de Rochemont nous a fourni, avec beaucoup d'éloquence et de clarté, les renseignements les plus complets sur le projet de l'Administration qui donnerait, suivant lui, satisfaction à tous les intérêts engagés, et qui doterait le Havre d'une entrée en eau profonde.

Dans un mémoire rempli de renseignements non moins complets, M. de Coëne est arrivé à des conclusions toutes différentes de celles de M. l'Ingénieur en chef.

A deux reprises, M. L. Vauthier, qui s'occupe depuis bien longtemps de la question, a déclaré qu'il n'était pas partisan du projet Partiot, surtout

parce que ce projet ne lui paraît pas assurer les conditions d'un bon remplissage de l'estuaire de la Seine par les marées.

M. l'Ingénieur en chef Mengin, dans les termes les plus précis et les plus convaincus, nous a exposé les raisons sur lesquelles s'est basée l'Administration pour déterminer la forme et la position des digues dans l'estuaire, afin d'améliorer, autant que possible, la Seine maritime.

Rappelant ce qu'il a dit, il y a deux ans, M. Fleury a reproché au projet Partiot de diminuer la capacité de l'estuaire, tandis que le projet de l'Administration a l'avantage de ne rien compromettre dans la Seine maritime et de faciliter une expérimentation qui lui paraît plus nécessaire que jamais devant la divergence des opinions.

Vous avez entendu M. Hersent, si compétent en fait de travaux maritimes, proposer une série d'améliorations qui ne se retrouvent ni dans le projet de l'Administration, ni dans celui du Comité d'initiative, et qui donneraient, suivant lui, satisfaction à tous les intérêts sans occasionner des dépenses hors de proportion avec les résultats à atteindre.

Notre vice-président, M. Périssé, a pensé que la discussion serait incomplète si la Société ne connaissait l'opinion de M. l'Inspecteur général Partiot. Il a présenté un résumé des appréciations personnelles que cet éminent Ingénieur a émises dans ses publications, et, faisant connaître ce qui se dégageait, suivant lui, des communications apportées à la Société, M. Périssé a exprimé l'opinion que les inconvénients du projet de l'Administration étaient trop nombreux et trop grands pour qu'on pût l'exécuter. Il faudrait se remettre à l'œuvre pour reprendre l'étude technique en ayant pour seul objectif de sauvegarder les intérêts commerciaux et militaires du Havre, de Rouen, de Paris et de la France entière.

M. de Cordemoy nous a exposé en termes chaleureux les raisons qui l'ont amené à dire que la solution de la question consisterait à prendre pour base le projet de l'Administration, sauf à y apporter des modifications sérieuses, mais il n'a pas indiqué les dispositions à prendre pour les réaliser.

A la fin de la discussion, M. Cotard a traduit cette impression qu'aucune conclusion ne s'en dégage. En présence de la diversité des projets, il y aurait, d'après lui, un véritable danger à prendre des résolutions définitives avant que la lumière fût faite. Il ne lui paraît pas possible d'exécuter sans examen nouveau le projet de l'Administration, qui est fort coûteux, qui ne donne pas de rade abritée, qui ne satisfait pas aux demandes des marins, et laisse place à bien des appréhensions. La prudence conseille donc de s'en tenir à un premier ensemble de travaux satisfaisant aux besoins urgents et n'engageant pas l'avenir, notamment le prolongement des digues jusqu'à Honfleur, lequel se retrouve dans tous les projets. Ainsi, d'ailleurs, on proportionnerait les dépenses aux ressources disponibles.

Plus tard, MM. de Coëne et Fleury nous ont apporté des renseignements complémentaires à propos des conclusions du rapport de M. Franzius au congrès international de navigation intérieure tenu à Francfort.

J'ai tenu, Messieurs, à résumer, un peu longuement peut-être, cette discussion de la Seine maritime, parce que nous sentons tous ici l'impor-

tance qu'une bonne solution peut avoir au point de vue des intérêts généraux du pays. *(Très bien! Très bien!)*

Arrivons à d'autres sujets.

M. Bauer nous a fait une communication sur l'incendie dans les théâtres.

M. Boudenoot a appelé notre attention sur une publication faisant ressortir les avantages du Métropolitain aérien au point de vue militaire, et sur un projet d'établissement d'un chemin de fer dans l'intérieur de Paris qui date de 1845.

M. Level nous a rendu compte de sa visite comme délégué de la Société au chemin de fer à rail unique surélevé, système Lartigue, qui fonctionne en Irlande sur une longueur de 15 *km*. Il nous a décrit les locomotives étudiées par notre collègue M. Mallet, le matériel roulant, la voie avec les dispositions ingénieuses de changement de voie imaginées par notre jeune collègue, M. Bocandé, et il a exprimé l'espoir qu'on trouvera à faire en France et dans nos colonies des applications de cette invention éminemment française.

M. Eiffel, à qui je serai heureux de céder bientôt le fauteuil, nous a communiqué les essais du viaduc de Garabit qui venaient d'avoir lieu avec un plein succès, et nous a donné tous les détails des calculs de ce grand ouvrage. M. Henri Mathieu a saisi l'occasion pour définir la part de responsabilité et d'honneur qui revient à chacun dans l'exécution de cette œuvre magistrale : à M. Boyer, Ingénieur de l'État, la conception heureuse d'un tracé d'une extrême hardiesse, ainsi que la construction des viaducs d'accès en maçonnerie; à M. Eiffel, l'application à ce tracé d'un viaduc métallique semblable à celui du Douro, qui par ses dimensions colossales, la nouveauté de ses procédés de montage, avait déjà fait l'admiration des Ingénieurs. *(Très bien! Très bien! Applaudissements.)*

Le viaduc de Garabit, plus important encore, fait honneur au Génie Civil français, dont vous avez voulu qu'Eiffel fût en 89 le représentant autorisé.

Mais il est un autre de nos collègues dont les conceptions grandioses nous honorent également; je veux parler de M. Contamin, notre vice-président, qui nous a entretenus des travaux du Champ de Mars et notamment de la grande galerie des machines dont nous vous rappelons plus loin la visite. *(Marques d'approbation.)*

M. Ritter nous a présenté un projet grandiose d'alimentation de la Ville de Paris en eau et force au moyen d'une dérivation des eaux des lacs du Jura suisse.

L'importante question de la construction des ponts portatifs a été introduite par une communication de M. Durupt sur le système de M. Pichault. M. Eiffel a apporté et a fait apporter par M. Collin, Ingénieur de sa maison, les renseignements sur son système de ponts portatifs économiques, et notamment sur l'application qui en a été faite en Cochinchine et au Tonkin. Une lettre du commandant Henry a donné à la Société des renseignements intéressants sur son système de charpentes à mailles triangulaires, composées d'éléments portatifs et interchangeables.

Une discussion à laquelle ont pris part MM. de Brochocki, Gobert, Lantrac et Régnard, a apporté une série de renseignements et d'appréciations que ceux que le sujet intéresse pourront consulter avec fruit.



Les questions si importantes qui touchent à la navigation intérieure n'ont occupé la Société qu'à propos du compte rendu de M. Fleury sur le congrès international de navigation intérieure tenu à Francfort au mois d'août et aussi dans la récente visite au Canal Saint-Maurice que j'aurai bientôt à vous rappeler.

M. Auguste Moreau nous a parlé des tramways en Hollande, et M. Franck, à propos de cette communication, de sa locomotive sans foyer et de ses applications nouvelles.

Enfin, pour terminer le résumé de nos travaux de la première section, il me reste à vous parler du chemin de fer de La Réunion et du chemin de fer de La Mure, deux exemples de chemins de fer à voie étroite, de 1 *m*, construits dans des conditions exceptionnellement difficiles. MM. Lavalley et Molinos vous ont parlé du premier, et M. Roy, de la ligne si pittoresque qui conduit aux mines d'anthracite de La Mure.

2° *Mécanique et ses applications*. — M. Vallot nous a présenté un travail des plus sérieux et des plus étudiés sur le mouvement de l'eau dans les tuyaux circulaires, et les explications verbales dont il l'a fait suivre ont été écoutées avec une attention et applaudies avec une chaleur que je suis heureux de rappeler.

Deux lettres de M. Piarron de Mondésir au sujet de son Mémoire sur la force ont mis fin à un débat scientifique entre lui et M. Bertrand de Fontviolant.

Une étude consciencieuse sur le travail du gaz et son application aux machines a été remise par M. Lefer.

M. Périssé nous a présenté un mémoire des plus importants sur les accidents aux tôles de coup de feu des chaudières à vapeur, et comme ce mémoire avait été préalablement distribué en tirage à part à tous ceux d'entre nous qui en avaient exprimé le désir, la communication a pu être suivie d'une large discussion qui s'est prolongée pendant trois séances consécutives, en raison du haut intérêt qui s'attache à cette question.

Ont pris la parole sur ce sujet vingt Ingénieurs : MM. Shmidt, Rémaury, Compère, Gouilly, Bougarel, de Laharpe, Dulac, Girard, Regnard, Arson, Emile Muller, Lencauchez, et aussi, par lettres, MM. Chuwab, Cabany, Walther-Meunier, Bour, Roland, Marten et Longridge, ces cinq derniers, ainsi que MM. Schmidt et Compère, Ingénieurs en chef d'associations de propriétaires d'appareils à vapeur en France et en Angleterre.

Il serait trop long de résumer ici les opinions exprimées qui ont été, toutes pour ainsi dire, favorables aux conclusions de M. Périssé. Chacun de vous les trouvera dans les réponses que l'auteur du mémoire a présentées en terminant. Qu'il nous soit permis toutefois de faire ressortir l'importance des observations présentées par M. de Laharpe.

Félicitons-nous de l'ampleur prise par cette discussion sur une cause d'accidents jusqu'ici laissée de côté et espérons que le mémoire de M. Périssé et que le débat qu'il a provoqué auront pour effet de diminuer dans une certaine proportion le nombre d'accidents désastreux causés par l'explosion des chaudières à vapeur.

Un débat courtois s'est engagé entre M. Roy et M. Mallet à propos de machines locomotives munies d'un système radial « Bogie ou Bissell ».

Dans sa communication sur le chemin de La Mure, M. Roy a mis sous nos yeux un petit modèle de wagon avec boite radiale.

M. Féraud nous a fait une communication intéressante sur l'amélioration de la suspension des voitures de chemins de fer par l'application, en dedans, des menottes de ressorts à lames, et M. Rey, avec sa compétence en ces matières, nous a présenté sur ce point quelques observations.

Un système de pompe univalve à piston plongeur nous a été présenté par M. J.-E. Henry.

M. Carimantrand a fourni quelques chiffres et d'utiles indications sur l'usine de la rue Saint-Fargeau, appartenant à la Compagnie Parisienne de l'Air comprimé.

M. Lesourd a parlé du nouveau générateur à production de vapeur instantanée de MM. Serpollet frères, qui se sont mis à notre disposition pour la visite de leurs ateliers, et qui nous ont montré avec détails l'application de leur système aux tricycles.

M. Lemoine nous a présenté des considérations sur la mesure de la simplicité dans les constructions graphiques.

M. Bertrand de Fontviollant nous a parlé de sa théorie nouvelle avec applications sur les déformations élastiques des pièces et des systèmes de pièces à fibres moyennes, planes ou gauches.

M. Anthoni a exposé les moyens employés jusqu'ici pour amortir les vibrations des machines, et nous a indiqué les dispositions qu'il propose, pour mieux assurer l'isolement par l'emploi judicieux du caoutchouc. MM. Polonceau, Brüll, Bobet et Bricogne ont apporté sur l'emploi du caoutchouc et du liège comme isolants, des renseignements bons à noter.

M. Contamin nous a présenté une note de M. Barbet sur la construction et le calcul des cylindres de presses hydrauliques ou à air. Cette note abonde en chiffres et contient des résultats d'expériences utiles à consulter. De plus, la considération de l'effet de contraction latérale est introduite pour la première fois dans les calculs.

M. Mauclère a fait une communication des plus intéressantes sur le frein funiculaire, système Lemoine, qui est appliqué sur une grande échelle aux omnibus, aux tramways et aux affûts de pièces d'artillerie dont il diminue dans une énorme proportion le recul.

M. Gouilly nous a présenté un nouveau mode de propulsion par une hélice avec collecteur, en faisant devant nous quelques expériences en petit qui ont démontré l'intérêt qu'il y aura à les reproduire en grand.

M. Polonceau a présenté l'ouvrage de M. Thiré sur les éléments de statique graphique appliquée à l'équilibre des systèmes articulés.

M. Colladon a envoyé une note relative aux procédés de M. Mannesmann sur la fabrication des volants en fil d'acier et des tubes en acier.

3° *Mines et Métallurgie.* — M. Léon Durassier nous a envoyé un compte rendu des travaux et des visites du Congrès que la Société de l'Industrie minérale de Saint-Etienne a tenu au mois d'août dans l'est de la France et en Belgique.

Répondant à l'appel adressé par M. Périssé aux métallurgistes, au

sujet de la qualité des tôles à employer dans les chaudières à vapeur, M. Rémaury, dans une note sur l'emploi des tôles en métal fondu, nous a fourni des renseignements inédits que les spécialistes ont lus avec grand intérêt.

Lecture a été donnée d'une note de M. E. Flachat sur la carburation des menus bois, sans production de cendres.

La Société a reçu de M. Hervegh une note explicative avec figures sur les publications du colonel Lauer, traitant de la charge et de l'allumage des trous de mines au moyens des étoupilles à friction dans les fosses à grisou.

M. Polonceau a analysé une brochure de M. Nicklés sur les couches géologiques de la province de Valence.

Notre ancien président, M. Jordan, nous a donné une analyse de l'ouvrage de M. Lowthian Bell sur les principes de la fabrication du fer et de l'acier, ouvrage traduit par M. Hallopeau.

Enfin M. Remaury dont la compétence en matière de hauts fourneaux est bien connue, nous a fait une très intéressante communication sur ces appareils, d'après les documents les plus récents.

4° *Physique et Chimie industrielles.* — M. Polonceau nous a parlé du Lucigène, appareil basé sur l'emploi des huiles lourdes pulvérisées par un courant d'air, pour produire la lumière intensive.

Il nous a aussi présenté quelques échantillons de soudure électrique des métaux, application nouvelle de l'électricité due à M. Bénardos, que M. Przewoski nous a fait connaître, en nous donnant une traduction de l'analyse de l'Ingénieur Kamenski.

M. Polonceau a résumé une notice de M. de Montgrand sur un appareil à production simultanée et équivalente du froid et du chaud.

M. Gautier nous a fait une communication sur la fabrication du gaz-éclair au moyen de l'air et des huiles légères de pétrole, communication suivie d'une discussion à laquelle ont pris part : MM. Polonceau, Brüll et Regnard.

M. Lasne a présenté un rapport sur le dernier Congrès des Sociétés savantes, rapport préparé avec MM. Derennes, Lenicque et Lévy, pour nous parler des phosphates.

Enfin, M. Boudenoot a présenté un mémoire donnant des détails sur les machines et sur l'usine de Lumière Electrique en cours d'installation au Palais-Royal.

5° *Divers.* — Il me reste à vous signaler les divers travaux qui n'appartiennent à aucune des sections, ou qui pourraient se rattacher à plusieurs d'entre elles.

Et tout d'abord le Rapport substantiel de M. Mallet sur l'organisation administrative des Sociétés françaises et étrangères qui présentent de l'analogie avec la nôtre.

M. Cerbelaud nous a décrit l'appareil de suspension pour le transport des blessés et malades en campagne, du Dr Gavoy.

M. Hervegh nous a parlé des travaux d'amélioration d'un territoire en Italie.

M. Cotard, d'un ouvrage sur les chantiers de terrassements en pays paludéen.

Une analyse très bien faite du Mémoire du capitaine Faraud sur le *Plus lourd que l'air* nous a été présentée par M. de Nansouty. M. de Bruignac nous a envoyé sur ce sujet quelques remarques intéressantes.

M. A. Brüll nous a entretenus d'une note de M. Rolland, Ingénieur des mines, sur la colonisation française au Sahara.

Enfin, M. Auguste Moreau nous a fait une communication instructive et attrayante sur la « *Ramie* », cette plante textile que l'Algérie pourra fournir en grande quantité, le jour où le problème de sa décortication à bon marché sera résolu. Cette communication a été suivie d'une discussion qui n'est pas fermée, et à laquelle ont pris part : MM. Chancel, Euverte, E. Simon, Régnard, et plusieurs spécialistes étrangers à la Société.

Pour terminer, il convient d'appeler votre attention sur le savant Mémoire de M. A. Gouilly sur l'œuvre de Henri Giffard, mémoire qui a valu à son auteur le premier prix Giffard, et qui remplit à lui seul notre Bulletin de Septembre......

J'en ai fini avec le résumé des travaux de vos séances : mais la vie de la Société ne tient pas toute dans ces réunions bimensuelles et j'ai, hélas ! bien des choses encore à vous dire. *(Sourires. — Parlez ! Parlez !)*

Ainsi que vous le faisait pressentir mon prédécesseur et ami Brüll, dans son discours d'adieu, le banquet commémoratif du 4 mars — où le nombre des convives toujours décroissant n'était plus en 1887 « que la moitié environ du nombre réalisé en 1883 », — n'a pas eu lieu cette année.

Votre Comité qui avait songé à le remplacer par un Congrès tenu à Paris au mois de mai, et qui avait même, à cet effet, adressé en temps utile une circulaire aux membres de la Société, ne recevant pas un nombre suffisant d'adhésions et comprenant que l'approche des grands Congrès de 1889 ne permettait pas d'assurer à l'essai qu'on voulait tenter en 1888 toute la solennité désirable, votre Comité, dis-je, a dû se rallier à l'idée de profiter de l'Exposition de Barcelone et d'appeler dans ce grand centre industriel de la Catalogne, à l'heure la plus favorable, ceux de nos collègues désireux de se procurer à la fois les agréments d'un beau voyage, des connaissances nouvelles et une occasion de répandre au loin la bonne parole. Ce voyage n'a pas été infructueux ; il nous a valu de nouvelles recrues et surtout de précieuses sympathies.

Je ne reviendrai pas sur ce qui s'est passé au Congrès de Barcelone, sur la part qu'y ont prise, en traitant des questions internationales du plus haut intérêt, nos collègues Herscher, Grüner, Grosseteste, etc. Je me bornerai à rappeler les comptes rendus si intéressants de MM. Périssé et Brüll et je crois être l'interprète de ceux qui ont assisté à ces fêtes de l'intelligence et du savoir, en disant qu'elles laisseront dans l'esprit et le cœur de tous, des invités aussi bien que de leurs hôtes, un impérissable souvenir. *(Très bien ! Très bien !)*

Cette excursion, la plus importante, sans contredit, n'a pas été la seule.

Je rappellerai, en passant, la visite au chemin de fer à rail unique

surélevé, système Lartigue, qui fonctionne entre Listowel et Ballybunion en Irlande, à l'examen duquel vous aviez délégué MM. Mallet et Level et dont ce dernier, à qui je m'étais joint, ainsi que M. Nicou, Ingénieur en chef, délégué du Gouvernement et du département de la Loire, dont M. Level, dis-je, vous a fait à la séance du 6 avril la description résumée dans l'énumération des travaux de l'année.

Je citerai également, pour mémoire, et à cause du lien qu'elles ont avec des communications faites en séance, les visites officielles auxquelles j'ai eu l'honneur d'être appelé à titre de Président de la Société, et notamment :

— La visite organisée les 14 et 15 mai par la Compagnie des chemins de fer du Midi, à l'occasion de la réception par les Inspecteurs Généraux de l'État, de la section de ligne de Saint-Chély à Saint-Flour et, par conséquent, du viaduc de Garabit, qui a fait l'objet de la communication et des observations résumées dans le compte rendu qui précède;

— La visite ayant pour but d'étudier à nouveau la Seine, son embouchure, les ports de Rouen, Honfleur et le Havre, organisée les 25 et 26 mai par les Chambres de commerce de la Seine-Inférieure, qui avaient invité la Commission des voies navigables et des Ports de la Chambre des députés, à la suite des importantes discussions auxquelles quatre de nos séances (1) ont été consacrées et auxquelles ont pris part les divers orateurs dont les noms ont été précédemment rappelés.

— Et enfin, la visite organisée fin juillet à l'occasion de la réception du chemin de fer de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure où l'application du système Edmond Roy a donné dès le début les remarquables résultats décrits par son auteur dans la séance du 16 novembre, confirmés aujourd'hui par une pratique de six mois et que la Société voudra certainement constater ou faire constater par une délégation, au cours de l'année qui commence.

Je dois rappeler aussi aux nombreux membres de la Société qui y ont pris part, les visites à diverses installations, usines ou chantiers situés dans Paris :

— La visite à l'usine Popp (Production d'air comprimé) dont M. Carimantrand vous a fait, dans la séance du 6 juillet, la très complète et très intéressante description;

— Celle à la machine établie d'après le système Anthoni sur fondation élastique et isolante;

— Celle du 17 novembre aux travaux d'installation de l'usine électrique pour l'éclairage du Palais-Royal où notre collègue, M. Vernes, nous a guidés et dont M. Boudenoot, avec son zèle et sa compétence habituels, nous a donné la description dans la séance du 7 décembre;

— Celles enfin du 14 mai et du 9 décembre aux chantiers de l'Exposition où, tout aussi bien sous la merveilleuse voûte métallique de 110 *m* que sur les degrés de la Tour, conduits par des guides qui s'appelaient Contamin et Eiffel, nous nous sentions chez nous et nous éprouvions un certain orgueil à circuler sous les immenses arceaux que notre collègue Level, dans son enthousiasme, a baptisés ce jour-là d'un nom que je vou-

(1) Séances des 2 et 16 mars, 6 et 20 avril.

drais leur voir garder : « *Arcs de Triomphe du Génie civil.* » *(Bravo! Bravo! Vifs applaudissements.)*

J'aurai tout dit, je crois, sur les visites d'ensemble en rappelant celles qui se sont accomplies *extra muros :*

— L'excursion faite à Laon, sur l'invitation de notre collègue M. Decauville, que notre vice-président Polonceau a dirigée avec tant de tact et de succès et dont notre collègue Cotard nous a fait le récit dans la séance du 1[er] juin;

— Et enfin l'excursion du 29 décembre aux canaux de Saint-Maur et Saint-Maurice où plus de cent de nos collègues, armés du billet de faveur dont je remercie en leur nom notre cher ancien Président Martin, se sont trouvés réunis, et, guidés par M. l'Ingénieur des Ponts et Chaussées George Pavie, ont pu voir fonctionner le système de traction telo-dynamique Maurice Lévy dont M. Brüll s'est chargé de présenter la description dans une de nos prochaines séances.

Comme dernier mot sur tout ce qui, dans un but scientifique, a provoqué ou provoquera la réunion sur un point commun d'un certain nombre d'entre nous, soit en France, soit à l'étranger, je rappelle, sans insister, les divers congrès dont il a été question au cours de la présente année :

— Le congrès des Sociétés savantes, où vous avez délégué MM. Paul Lévy, Lenicque, Derennes et Lasne;

— Le congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences. — Délégués : MM. Chabrier et Vuillemin;

Le Congrès de sauvetage auquel ont pris part, entre autres membres de notre Société, MM. Périssé, Cotard, Cacheux, de Nansouty, etc.

— Le congrès minier et métallurgique de Vienne. — Délégués : MM. Gottschalck, Ronna, Gouvy, Reinhart et Mahler;

— Le congrès de l'Industrie minéral dans l'est de la France et de la Belgique, dont M. Durassier a donné à la Société le très complet compte rendu, reproduit pages 368 et suivantes du Bulletin de mars;

— Le troisième congrès de Francfort-sur-le-Mein, qui a fourni à un de vos délégués, M. Jules Fleury, l'occasion d'une très intéressante communication sur le rôle que peuvent jouer les canaux dans la vie industrielle d'un peuple.

Et quant aux congrès en préparation pour 1889 :

— Le congrès des Sciences géographiques, qui a donné lieu à deux communications insérées aux Bulletins de juin et d'août, dont ceux de nos collègues que la question intéresse plus spécialement ont pu ou pourront faire leur profit;

— Et les congrès officiels se rapportant à diverses branches de notre art, organisés par l'administration de l'Exposition de 1889, avec le large concours de notre Société.

C'est à mon successeur ainsi qu'au nouveau Bureau et au Comité élus qu'il appartient d'apprécier à quelle date et dans quelles conditions les Sociétés étrangères qui nous ont annoncé leur visite en 1889, l'Iron and Steel, les Mechanical Engineers, les Associations belges de Mons, Liège, Gand, Bruxelles et Namur, l'Institut royal néerlandais, les Ingénieurs de l'État hollandais et enfin les Ingénieurs espagnols et portugais devront être appelés à ceux des congrès officiels où nous avons la majorité et qui

pourront peut-être être groupés en un seul, indépendamment, bien entendu des réceptions spéciales qu'on jugera à propos d'organiser en leur honneur.

Toutes ces questions ont été fréquemment débattues dans plusieurs des huit réunions du Bureau et des vingt-trois séances qu'a tenues le Comité; aucune résolution n'a été prise, le caractère d'urgence n'apparaissant pas suffisamment ; mais les solutions sont assez préparées par les démarches et les correspondances engagées et surtout assez arrêtées dans les esprits pour pouvoir être adoptées en temps utile et avec la maturité désirable.

Vos travaux professionnels, mes chers collègues, votre œuvre de chaque jour, dont les communications à la Société sont le reflet parfois très brillant, mais ne sont que le reflet, n'ont pas exclusivement pour effet le bénéfice légitime auquel tout travailleur a droit; ils procurent des récompenses parfois rémunératrices, toujours honorifiques, que notre Société, aujourd'hui en voie d'en accroître le nombre, n'est pas la seule à accorder.

Comme lauréats de Sociétés étrangères à la nôtre, je citerai :

M. Fayol qui a obtenu, en collaboration avec M. Petit, ainsi qu'il est constaté à notre séance du 20 janvier, la médaille d'argent de la Société d'encouragement pour l'appareil d'essais dit « Frictomètre »;

M. Ferdinand Mathias, à qui il a été accordé par la Société industrielle du Nord la médaille Kuhlman dans les conditions flatteuses que relate l'extrait du Bulletin de cette Société, dont vous avez eu communication à la séance du 17 février.

Comme lauréats de notre Société, je rappelle d'un mot que nous avons proclamé, à la séance du 15 juin, les noms de MM. :

Gruner, à qui a été décernée la médaille d'or de la Société pour son « Mémoire sur les lois nouvelles d'assistance ouvrière en Allemagne, » en Autriche et en Suisse »;

Borodine, qui a obtenu le prix triennal Nozo pour son « Mémoire sur » les recherches expérimentales, sur l'emploi des enveloppes de vapeur » et du fonctionnement Compound dans les locomotives, effectuées sur » les chemins de fer Sud-Ouest Russes »;

Gouilly et Casalonga, qui se sont partagé le prix Giffard dans la proportion de 1800 francs au premier et de 1 200 francs au second, pour leurs Mémoires consacrés à « l'Analyse de l'œuvre d'Henri Giffard ».

Et quant aux distinctions accordées par le Gouvernement qui, tout en ne s'adressant pas le plus souvent à un fait précis, à une œuvre déterminée dont la collectivité ait eu à connaître, mais à la vie entière de l'Ingénieur, n'en rejaillissent pas moins sur le corps dont il fait partie, je ne redirai pas les noms de ceux qui en ont été l'objet; je me borne à rappeler leur nombre.

Dans l'ordre de la Légion d'honneur :

1 officier et 11 chevaliers;

Dans l'ordre académique :

7 officiers de l'Instruction publique et 13 officiers d'Académie;

Dans divers ordres étrangers :

13 chevaliers, officiers ou commandeurs.

Tel était le bilan de 1888 avant que la loi du 12 décembre, relative

aux récompenses à décerner à l'occasion des expositions, vint fournir au Ministre compétent les moyens de reconnaitre et de récompenser les mérites de plusieurs autres de nos collègues.

Je ne résiste pas au plaisir de vous en donner les noms qui n'ont pas, comme ceux de leurs prédécesseurs, été proclamés dans cette enceinte.

Ont été promus au grade d'officiers de la Légion d'honneur :

MM. Richemond (Émile-Louis);
Geneste (Eugène);
Delaunay-Belleville (Gabriel).

Ont été nommés chevaliers de la Légion d'honneur :

MM. Dommange-Scellos (Albert);
Baudet (Louis-Constant-Émile);
T. de Brochocki;
Brustlein (Henri-Aimé);
Boulet (Jean);
Boutmy (Léopold-Charles-Auguste);
Bougarel (Pierre-Étienne-Frédéric);
Imbs (Joseph-Alexis-Albert).

Ce qui porte le nombre de nos officiers de l'année à 4 et celui des chevaliers à 19.

Et nous ne devons voir là que l'avant-garde de l'armée de légionnaires que l'Exposition de 1889 introduira dans la place et dont mon heureux successeur aura à faire l'appel — personne ici n'en doute — à titre d'officier autant qu'à titre de Président de la Société. *(Bravo! Bravo! Applaudissements prolongés.)*

Tout serait dit sur le chapitre des récompenses à attribuer aux mérites et aux efforts exceptionnels s'il ne convenait de rappeler le supplément de ressources que sont venus mettre dans ce but à la disposition de la Société de généreux donateurs. J'en profite pour remercier une fois de plus en votre nom :

Notre excellent collègue Édouard Simon pour sa fondation d'un prix triennal dit *Prix Michel Alcan; (Marques d'approbation.)*

La veuve et les fils de Coignet, pour la fondation d'un prix destiné à perpétuer le souvenir de leur chef de famille, notre distingué et regretté collègue François Coignet. *(Marques d'approbation.)*

Je vous demande la permission d'étendre ces remerciements :

A Mlles Huet, à Mme veuve Caillé et à M. Rousseau pour les dons en nature : plans, cartes, livres, collections, dont ils ont enrichi notre bibliothèque; à M. Canet, pour le don volontaire et gracieux de 400 *f*, à son entrée dans la Société; à M. Périssé, pour le don non moins volontaire et non moins gracieux de 1 000 *f*, à l'occasion de cette décoration que toute une vie de travail intelligent et incessant avait largement payée d'avance; *(Très bien! très bien!)* à d'autres encore dont vous pouvez lire les noms en face d'un chiffre dans la situation financière au 10 décembre : MM. Allard, Granddemange, Olry, Bert, Eiffel.

Les libéralités se multiplient, on le voit, au fur et à mesure que la Société grandit en nombre, en richesse et en bon renom.

Je ne renouvellerai pas les observations que me suggérait, au mois de juin, l'examen du compte rendu financier du 1er semestre, sinon pour

faire remarquer, en passant, que mon optimisme d'alors se trouve entièrement justifié par le compte rendu de la situation financière au 10 décembre que vous a présenté, avec sa sincérité et sa clarté habituelles, notre sympathique trésorier Hallopeau. *(Applaudissements).*

Ni les dépenses exceptionnelles de réorganisation de la bibliothèque et de transformation de l'éclairage, dont la nécessité s'imposait, ni le solde d'arriérés, qui ont exceptionnellement grossi le compte des travaux d'impression, n'ont arrêté cet accroissement annuel de 15 ou 16 000 *f*, aussi modeste que régulier, qui a porté, dans la dernière période de 8 ans, notre avoir social de 325 000 à 451 000 *f*.

Après avoir adressé à ce vigilant gardien de nos intérêts financiers les félicitations auxquelles vous êtes unanimes à vous associer pour son zèle et sa bonne gestion, et lui avoir exprimé une fois de plus les regrets que nous éprouvons de le perdre, je n'ai encore accompli qu'une partie de mes devoirs de reconnaissance.

Je dois, en votre nom et au mien, de sincères remerciements aux collègues du Bureau et du Comité que vous aviez adjoint à votre Président et qui, avec une bienveillance et une cordialité qui ne se sont jamais démenties, lui ont prêté le concours le plus actif et le plus éclairé. *(Très bien ! très bien !)*

Je tiens enfin à apporter au personnel de la Société et à celui que nous avons appelé à le diriger un témoignage tout spécial de reconnaissante satisfaction.

Il faut avoir, comme moi, débuté dans un moment de transition où le fonctionnaire qui, jadis sous le nom de secrétaire-archiviste, aujourd'hui sous celui d'agent général, n'était plus M. Husquin de Rhéville et n'était pas encore M. de Dax pour apprécier à leur juste valeur les services que rend ce dernier à la Société et à son Président.

Et ce n'est certes pas à dire que, dans les quelques semaines de transition que je rappelle, les dévouements empressés n'aient fait défaut; pas plus l'expérience chèrement achetée, au cours de plusieurs mois d'une situation semblable par mon prédécesseur Brüll, pas plus ses bons conseils et son intervention active, que l'omniscience des choses de la Société de Mallet, que le concours bienveillant des vice-Présidents Périssé, Polonceau, de tous ceux, en un mot, à qui j'ai dû faire appel, rien ne m'a manqué, tous les bons vouloirs m'ont été prodigués. *(Applaudissements.)*

Mais, en dehors même de la crainte d'abuser, il m'eût été matériellement impossible d'imposer à tous ces dévoués certains détails dont j'ai eu le temps de mesurer l'importance.

Ce sont ces détails de la correspondance courante, des relations journalières, de l'organisation intérieure dont M. de Dax, dès les premiers jours de son entrée à la Société, a su prendre la charge avec un entrain, un dévouement et un succès dont je le félicite et le remercie en le priant de reporter une part de ce témoignage de satisfaction très sincère sur le personnel dont les travaux journaliers se sont accrus, cette année, de l'œuvre si nécessaire mais si absorbante de la réorganisation de notre bibliothèque. *(Applaudissements.)*

Voilà pour ce qui regarde chacun en particulier, et j'ai tenu à n'oublier personne.

Il me reste à m'adresser à la Société tout entière et à vous dire, mes chers collègues, le chaud souvenir que j'emporte de cette année passée au milieu de vous, le bien-être que j'ai éprouvé dans l'atmosphère de sympathie où vous m'avez fait vivre, ma reconnaissance sans bornes pour une bienveillance qui ne s'est jamais démentie.

Vous m'avez fait, il y a un an, un suprême honneur. Vous m'avez donné depuis de suprêmes joies, celles qui viennent du cœur.

Encore une fois, et de toute mon âme, merci !

J'aurais voulu, en terminant, jeter un coup d'œil sur la situation des travaux en France, exprimer les regrets que nous éprouvons tous à voir le mouvement de réaction, conséquence inévitable de l'exagération du programme Freycinet s'accentuer aujourd'hui au point que certains fanatiques des idées de prudence ne parlent plus de ralentir, mais d'arrêter tout. J'aurais voulu examiner, avec vous, le danger que font courir au pays les étranges théories de cette secte nouvelle des *immobilistes*. — Pardonnez ce néologisme; il n'est pas plus étrange que l'idée qu'il exprime. *(Bravo! bravo! Vifs applaudissements.)*

J'aurais voulu vous rappeler une fois de plus le rôle qui vous appartient de faire naitre et de diriger le mouvement d'opinion qui ne peut tarder à se produire dans le pays en faveur de l'utilisation modérée mais persistante de ses forces actives.

Mais vous savez tout cela mieux que moi et j'ai hâte de finir. J'avais à vous parler du passé : ma tâche est accomplie. Je dois laisser au plus tôt à celui qui me remplace le soin de s'entendre avec vous pour préparer l'avenir.

Le choix que vous avez fait dit éloquemment que les tendances à l'immobilité que je signalais tout à l'heure ne sont pas les vôtres.

S'il est un nom qui personnifie, à l'heure actuelle, l'action intelligente, hardie sans témérité et toujours sûre d'elle-même, ce nom est celui d'Eiffel. En lui se résumeront, aux yeux des Ingénieurs étrangers dont 89 vous assure la visite, vos aspirations vers le progrès incessant.

Il apportera dans la direction de la Société la hauteur de conceptions et la sûreté de jugement qui ont fait sa fortune et son renom.

Je vous invite, mon cher collègue, à prendre place à ce fauteuil où vous serez entouré, pendant la dure mais glorieuse campagne qui s'ouvre, des dévouements et des sympathies auxquels l'honorabilité et l'autorité de votre personne ont droit et que le dévouement de tous nos collègues aux intérêts de notre grande Société vous assure. *(Bravo! bravo! applaudissements prolongés.)*

M. Reymond, président sortant, serre la main à M. Eiffel auquel il cède la place au fauteuil.

M. Eiffel nouveau président prononce le discours suivant.

Mon cher Président,

Les paroles élogieuses que vous venez de m'adresser me touchent profondément; prononcées par vous dans la circonstance présente et devant un tel auditoire, qui a bien voulu s'y associer, elles me sont précieuses et je vous en remercie du fond du cœur.

J'ai aussi une tâche à accomplir, c'est de vous témoigner la reconnais-

sance de la Société pour le dévouement dont vous lui avez donné tant de preuves pendant votre année de présidence.

La netteté de votre parole, la droiture de votre caractère, la vigueur de votre esprit, l'ardeur de votre zèle pour la défense de nos intérêts devant le Parlement sont hautement appréciés de nous tous; vous n'avez reculé devant les fatigues d'aucun voyage pour tout ce qui devait accroître le bon renom et la considération de notre Société, devant les ennuis d'aucune démarche pour tout ce qui devait servir ses intérêts et, enfin, vous avez dirigé toutes ses discussions avec une lucidité et une impartialité, qui, de nous tous, vous ont fait des amis reconnaissants. *(Bravo !)*

Recevez donc par ma voix, mon cher Président, au nom de la Société toute entière, nos remerciements émus et l'assurance que nous garderons dans notre mémoire le meilleur souvenir d'une Présidence si bien remplie. *(Applaudissements prolongés.)*

Messieurs et chers Collègues,

J'ai aussi à vous exprimer ma gratitude personnelle pour la marque de confiance et d'estime que vous venez de me donner; j'en sens tout le prix, et ce sera l'un des plus grands honneurs de ma carrière.

Mais cet honneur, si grand qu'il soit, est bien redoutable. Vous êtes habitués chaque année à entendre votre Président vous parler de l'insuffisance qu'il s'attribue trop modestement, et habitués aussi à reconnaitre, expérience faite, qu'il n'en est rien, et que votre Président se tire à merveille des fonctions qui l'effrayaient d'abord.

Votre scepticisme, à l'égard des craintes trop réelles que je ressens, ne serait pas, pour cette fois, justifié : vous sentez tous que devant la responsabilité que vous m'avez demandé d'assumer pendant l'année de l'Exposition, qu'en face du devoir que vous m'imposez de représenter dignement notre Société auprès des Ingénieurs de toutes les nations et de veiller aux intérêts scientifiques et moraux de chacun de ses membres, j'ai toute raison d'être quelque peu effrayé et de me demander si je ne resterai pas au-dessous de ma tâche, quel que soit le dévouement dont je me sens animé et dont je vous apporte l'assurance. *(Applaudissements).*

Rappelez-vous qu'en deux circonstances analogues, en 1867 et en 1878, vous avez cru nécessaire d'appeler à la Présidence deux maîtres incontestés, choisis parmi les plus illustres qu'ait comptés notre Société, MM. Flachat et Tresca. C'est la même mission qu'ont si bien remplie ces deux hommes absolument éminents que vous me confiez aujourd'hui.

Devant de tels exemples à suivre, et devant de si grands devoirs à remplir, reconnaissez que mon anxiété doit être réelle et bien légitime. Aussi, ce ne sera pas de moi une parole banale que de vous demander à tous votre concours, non seulement de bienveillance et de sympathie unanimes, mais encore de travail et d'efforts en commun. Vos vice-présidents se proposent bien, ainsi qu'ils m'en ont donné l'assurance, de déployer toute l'activité que demande cette année exceptionnelle ; mais ce n'est pas encore assez, et je compte également sur tous nos anciens Présidents pour m'aider à rendre féconds les travaux de la Société et à accueillir dignement les Ingénieurs étrangers que nous allons recevoir chez nous, après avoir été si bien reçus chez eux.

Ce sera d'ailleurs pour nos anciens Présidents une douce tâche de manifester leurs sentiments de gratitude, M. de Comberousse aux Ingénieurs belges et hollandais, M. Reymond aux Ingénieurs espagnols, M. Gottschalk aux Ingénieurs de l'Autriche-Hongrie et de la Russie, MM. Jordan et Trélat aux Ingénieurs anglais.

Je viens de prononcer les grands noms de Flachat et de Tresca. Puisque je me trouve aujourd'hui à la place qu'ils occupaient, permettez-moi d'évoquer leur souvenir et de vous parler d'eux quelques instants.

Tous les Ingénieurs de mon âge ont conservé vivant le souvenir de Flachat, qui est resté l'une des grandes admirations de notre jeunesse et qui le méritait pleinement. Esprit hardi, vif, primesautier, de rapide conception, de puissante imagination, ami de la jeunesse laborieuse, profondément libéral, sagace observateur, et, par-dessus tout, bienveillant, il est resté l'un des types les plus accomplis de l'Ingénieur civil, et l'un des plus illustres champions de l'initiative privée sous toutes ses formes.

En dehors des chemins de fer, dont il fut l'un des principaux créateurs, son œuvre est immense et il a laissé, dans toutes les branches de l'art de l'Ingénieur auxquelles il a touché, une ineffaçable empreinte. J'ai relu son magistral discours de 1867 sur le rôle qu'est appelé à jouer le Génie Civil en France. Il y aurait de curieux et intéressants rapprochements à faire entre les résultats statistiques dont son discours est nourri et ceux que peut nous fournir l'époque actuelle en ce qui concerne le rôle des Ingénieurs des Ponts et Chaussées comparé à celui des Ingénieurs civils. Je ne veux pas le faire aujourd'hui, et je me contente de vous rappeler l'un des discours les plus solides que votre Société ait jamais entendus, et dans lequel le Maître, dans une lumineuse analyse, constate par l'exemple des chemins de fer et des services postaux transatlantiques, que *les services publics sont accomplis avec toute l'activité et toute la fécondité que le pays doit en attendre, quand l'État les confie à l'Industrie.*

M. Tresca était d'une nature toute différente; c'était un savant, un encyclopédiste embrassant toutes les sciences; mais, dans ses études des phénomènes scientifiques, il ne se confinait pas dans le domaine de la théorie pure; il ne perdait jamais de vue le côté pratique des choses, il excellait, avec la clarté de son esprit méthodique, à le dégager pour grossir le nombre des faits expérimentalement démontrés qui forment le vrai patrimoine de l'Ingénieur. C'était aussi un travailleur acharné. Comme l'a dit M. de Comberousse, *il semblait de fer et d'acier comme les machines qu'il aimait, et il n'a cessé de travailler qu'en cessant de vivre.*

Dans le discours qu'il prononça en 1878, M. Tresca rappelle avec une émotion sincère et un sentiment d'orgueil très justifiés, le rôle qu'a joué la Société des Ingénieurs Civils en 1870. Avec l'aide de M. Vuillemin, son Président d'alors, de MM. Laurens, Martin, Lecœuvre, ainsi que de M. Martelet, Ingénieur des Mines, M. Tresca dirigea la Commission dite du Génie Civil dont il était l'âme; celle-ci, alors que toute communication de Paris avec le dehors était interceptée, arriva à construire, avec le concours des Compagnies de chemins de fer et de l'industrie privée, 3 000 voitures d'artillerie, 300 canons et 250 mitrailleuses.

Cette œuvre, dit-il, *qui a eu des heures d'entraînement au moment surtout où s'est produite la fièvre de la fabrication des canons, n'est pas*

d'ailleurs aussi fugitive que quelques-uns ont pu le dire ; c'est d'elle que date la tendance, de plus en plus marquée de jour en jour, vers l'exécution par l'industrie privée de tout ce qui intéresse la grandeur et la sécurité du pays.

Vous ne m'en voudrez pas, Messieurs, d'avoir rappelé un instant votre attention sur ces deux grandes figures qui ne sont pas les moindres gloires de notre Société, puisque cela nous donne une occasion de rendre un nouvel et sincère hommage à leur mémoire. *(Bravo! Bravo!)*

Nous sommes, Messieurs, en face d'un grand fait. Encore une fois la France appelle les Nations du Monde entier à venir exposer à tous les yeux les progrès les plus récents de leur industrie. N'est-ce pas le moment de rappeler ce que nous, Ingénieurs français, avons fait pour elles et quelle part nous avons prise à leur développement industriel?

Cette part est considérable, et je ne crois pas pouvoir être taxé d'exagération, en disant qu'elle est plus grande que celle de tout autre pays, sans en excepter l'Angleterre. On répète couramment que le Français ne se décide pas volontiers à quitter le sol de la patrie; c'est, ainsi que le faisait remarquer M. Gottschalk, une erreur profonde en ce qui regarde l'Ingénieur Français, dont on a constaté pendant ces trente dernières années en tous les points du monde, l'activité et l'influence. Qui de nous, pendant ses voyages à travers l'Europe ou au delà des mers, n'a reconnu presque avec étonnement, tellement nous avons de méfiance de nous-mêmes, que tous les travaux les mieux conçus et les mieux exécutés, ceux de la plus belle apparence, qu'il s'agisse de chemins de fer, d'ouvrages d'art, de travaux de ports, de distributions d'eau ou de gaz, ont été accomplis par des Ingénieurs ou des Entrepreneurs français?

Mon but aujourd'hui est de citer quelques-uns de ces travaux avec les noms des ingénieurs français qui y sont ou qui y ont été attachés, et de vous rappeler ainsi nos Victoires et nos Conquêtes pacifiques dans le domaine des grands travaux publics.

Mais ce sujet, qui n'a pas encore été traité devant vous, est si vaste que je ne pourrai, dans ces quelques pages, que l'effleurer; il est si beau, que j'ai un amer regret de ne pouvoir consacrer à son étude tout le temps et le développement qu'il mériterait.

Je me bornerai à en indiquer les grandes lignes, comptant sur votre indulgence pour combler les lacunes et les omissions que ce travail hâtif entrainera certainement.

Cependant je n'ai eu qu'à m'adresser à un certain nombre d'entre vous, qui ont participé à toute cette grande expansion française, pour avoir de suite une quantité notable de matériaux dont un autre, plus habile et disposant de plus de loisirs, tirerait un bien meilleur parti.

MM. Gottschalk, Pontzen, Level, Biarez, Villard, Hersent, Fouquet, Champouillon, Collignon, Terrier et d'autres encore ont bien voulu me fournir quelques notes. M. Georges Salomon, notre collègue, m'a communiqué les documents qu'il a déjà recueillis sur le même sujet.

Il se propose, en effet, de le traiter de la manière la plus complète dans un livre que nous espérons bientôt voir paraitre pour le plus grand honneur des Ingénieurs français.

Je dis des Ingénieurs français, sans distinction des Écoles dont ils sont

sortis, Écoles des Mines ou des Ponts et Chaussées, Écoles Centrale ou des Arts et Métiers. Tous ont porté avec honneur notre drapeau à l'Étranger et ont, soit comme Ingénieurs, soit comme Entrepreneurs, servi la même cause. celle de l'influence française.

Ce serait d'ailleurs aller contre les faits et la nature des choses que de vouloir séparer leur rôle.

C'est vers 1855, l'une des époques les plus brillantes et les plus prospères de l'industrie française, que se produisit ce mouvement considérable d'expansion à l'Étranger, sous l'influence de nos grands financiers et tout particulièrement de MM. Pereire et Rothschild, qui étendirent leur action presque simultanément en Russie, en Italie, en Espagne et en Autriche. Ils y appelèrent les Ingénieurs les plus distingués des Mines et des Ponts et Chaussées, auxquels furent adjoints, soit comme Ingénieurs, soit comme Entrepreneurs, de nombreux Ingénieurs civils.

Je ne craindrai pas de fatiguer votre bienveillante attention par une énumération très sommaire des énormes travaux exécutés sur tous les points du monde, et par celle de quelques-uns des noms qui y ont été attachés.

L'intérêt que présente par lui-même ce sujet et l'hommage que nous voulons rendre à ces pionniers de l'influence française, vous feront passer sur l'aridité de cette énumération qui restera, malgré tout, beaucoup trop incomplète à mon gré.

Je vous serais même très reconnaissant, mes chers collègues, si vous vouliez bien être attentifs aux parties que vous connaissez plus particulièrement, de manière à me permettre de réparer, sur vos avis, les erreurs ou les omissions graves que ce travail pourra presenter.

Autriche-Hongrie.

Je commencerai par l'Autriche-Hongrie qui est l'un des pays où l'action des Ingénieurs français s'est montrée tout d'abord avec le plus d'éclat.

La première Société française des chemins de fer en Autriche a été créée en 1855, sous le nom de *Société des Chemins de Fer de l'État*, par MM. Émile et Isaac Pereire, dont l'Ingénieur-conseil à cette époque était M. Le Chatelier, Ingénieur en chef des Mines.

Elle fut dirigée d'abord par M. l'Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées Maniel, l'un des premiers Ingénieurs en chef du chemin de fer du Nord français. Par sa grande compétence, il sut s'imposer en pays étranger où il laissa un grand renom de capacité et d'honorabilité..

Il amena avec lui une pléiade de jeunes Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines, parmi lesquels MM. Kopp, Bontoux, Dubocq, Huyot, Cézanne, Foltz, Baret, Pontzen, Zambuc, Castel, Stockausen, de Fontbonne, de Herz, etc.

M. Bresson, qui succéda à M. Maniel en 1862, appela successivement à lui MM. Guilloux, Barré, Linder et Bresson fils.

A cette grande entreprise restent encore aujourd'hui attachés des Ingénieurs, membres de notre Société, M. de Serres, M. Reinhart, M. Komarnicky, lequel a succédé, dans le service du matériel et de la traction, à notre Vice-Président, M. Polonceau, qui occupa ce poste pendant de longues années, enfin M. Ronna, qui est actuellement Directeur de l'im-

portant service des mines et usines que la Compagnie possède dans le Banat et en Bohême.

La Compagnie des Chemins de Fer du sud de l'Autriche fut créée en 1859 avec le concours de M. Paulin Talabot par MM. de Rothschild qui possédaient déjà les chemins Lombards.

Elle fut dirigée successivement par MM. de Lapérière, Michel, Tostain et Bontoux. Son premier Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction, de 1859 à 1867, fut notre collègue M. Desgrange, auquel M. Gottschalk, notre ancien Président, succéda de 1867 à 1878.

Sur le premier de ces deux réseaux, la construction du pont de la Theiss inaugura, en Autriche-Hongrie, l'emploi de fondations à l'air comprimé avec M. Cézanne comme Ingénieur de la Compagnie et avec MM. Fouquet et de Traz, comme Ingénieurs de la maison Gouin, entrepreneur du Pont. Cette maison française construisit plus tard la ligne de Villach à Franzensfeste sur le deuxième réseau, pour l'exécution de laquelle elle était représentée par MM. Villard, Jules Gouin et de nombreux membres de notre Société.

Parmi les autres lignes de chemins de fer construites en ce pays par des entreprises françaises, je mentionnerai une partie du chemin de fer Kronprinz Rodolphe et la ligne de Saint-Peter à Fiume, par MM. Gobert et Romans, et celle plus récente de Budapest à Semlin, par la Compagnie de Fives-Lille, dirigée par M. Duval, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées; M. Mercier, représentant de la Société de Fives-Lille a suivi les études de cette dernière ligne et en a dirigé la construction.

Le poste même de Directeur général des chemins de fer, au Ministère, à Vienne, fut occupé très longtemps par notre collègue, M. de Nordling.

C'est à partir de 1870 que l'on voit nos grandes maisons de construction produire en Autriche des ouvrages d'art des plus remarquables, tels que:

Les ponts de Stadlau, de Linz et de la Schwime-Schule-Allée, à Vienne, et ceux sur l'Inn, à Innsbruck, construits par le Creusot.

Les ponts de Tulln, Kaiser-Josef, de l'Iglawa, de Neusatz, construits par la Société de Fives-Lille, qui avait précédemment exécuté les charpentes métalliques des gares de la Staatsbahn et de la Sudbahn, à Vienne;

Le pont de raccordement des chemins de fer, à Budapest, par la maison Cail;

Le pont monumental sur le Danube, qui réunit les deux villes de Bude et de Pest, par la maison Gouin, exécuté pour le prix à forfait de 10 500 000 *f*.

Le pont-route de Szegedin, dont j'eus l'entreprise générale, ainsi que celle de la gare monumentale de la Staatsbahn, à Budapest.

Les fondations pneumatiques d'une partie des premiers de ces ponts furent faites par M. Castor et par M. Hersent, notre ancien Président. Ces Messieurs furent aussi chargés, avec M. Couvreux, de la grande entreprise de la régularisation du Danube, à Vienne, dont l'importance est de 42 millions de francs.

Le génie français eut aussi l'occasion de se manifester dans la construction de ports très importants, notamment celui de Fiume, exécuté par M. Vitali, de 1872 à 1879, et celui de Trieste, entrepris, de 1868 à 1874, par MM. Dussaud frères sous les ordres de nos deux collègues, MM. Pontzen et Bömches.

Russie.

C'est au sortir de la guerre de Crimée, en 1856, que MM. Pereire jetèrent les bases de la grande Société des Chemins de fer Russes qui fut constituée au capital de 1 100 millions et devait comprendre 4 000 *k* de chemins de fer. Les lignes principales étaient celles de Saint-Pétersbourg à Varsovie, avec embranchement sur la frontière de Prusse, et de Moscou à Nijni-Novgorod.

C'était l'entreprise la plus considérable qui eût été jusque-là concédée en Europe.

Sous la direction de M. Charles Collignon, cette puissante Société commença à fonctionner en 1857, et, en cinq ans, jusqu'en 1862, elle exécuta 1 700 *k* de chemins de fer sur les lignes précitées.

Nous relevons parmi les noms des collaborateurs de M. Collignon, ceux de MM. Guérin, Bresson, van Blarenberghe, de Mondésir, Grille, E. Collignon, Gottschalk pour le service de la construction, et ceux de MM. Ch. Poirée, Schlemmer, Pirel, Boulé, Guilloux, Alquié, Antoine, Paumier, Dinet, Jacqueline, Lehaitre, pour le service de l'exploitation.

Malgré les difficultés considérables résultant du climat, du petit nombre de jours de travail qu'il permettait (135 jours par an), de l'absence de matériaux, de la difficulté des terrains, ces Ingénieurs réussirent à faire de beaux et bons travaux. Mais des difficultés administratives s'élevèrent assez promptement entre la Société et le Gouvernement, et l'ukase du 3 novembre 1861 vint dessaisir la Société des lignes qu'elle n'avait pas encore commencées.

La responsabilité des causes de cet ukase, qui retarda pour longtemps l'achèvement du réseau, n'incombait en aucune façon à nos Ingénieurs.

C'est alors que M. Gottschalk resta seul chargé de la liquidation du service de la construction, tâche bien importante, puisqu'elle portait sur un chiffre de plus de 120 millions.

Parmi les entrepreneurs de la construction de ces chemins de fer figurent :

La maison Gouin, dont le Directeur M. Lavalley, notre ancien Président, avait sous ses ordres, en Russie, MM. Cézanne, Fouquet, Villard et de Traz, qui construisent les ponts de la ligne (plus de cent) depuis Pskow jusqu'à Varsovie et depuis Vilna jusqu'à la frontière de Prusse sur 950 *k* de parcours ; ils firent la première application des fondations par l'air comprimé en Russie et mirent en œuvre 40 000 *t* de métal ; l'ensemble des travaux s'éleva à 26 millions de francs. Toutes ces grandes rivières n'avaient, à cause de leurs énormes débâcles, jamais reçu de ponts. La même maison française construit à Kowno un tunnel important, le premier tunnel de chemin de fer établi en Russie ;

La maison Cail et la Compagnie de Fives-Lille exécutent à la même époque des ponts très importants sur la ligne de Moscou à Nijni-Novgorod. L'Ingénieur en chef de la maison Cail était alors M. Houel, ayant sous ses ordres M. Moreaux comme Ingénieur en chef des constructions métalliques.

En 1863, la maison Cail et la Compagnie de Fives-Lille prirent en

commun l'entretien du matériel roulant du Chemin Nicolas, en faisant un rabais de 45 0/0 sur les prix considérables faits à cette époque par les Américains. M. Gottschalk devint, sous les auspices de ses amis, Houel et Caillet, anciens membres de notre Société, le Directeur de cette entreprise qui fut, sous son énergique direction, productive pour les Compagnies, contractantes malgré le grand rabais fait sur les prix des Américains.

De 1866 à 1871, la maison Cail exécutait le Chemin de Kiew à Balta, qui devait plus tard se prolonger à Odessa. Là, encore, on employa un grand nombre d'Ingénieurs civils, parmi lesquels on peut citer MM. Letalle et Schmidt, membres de notre Société.

A la même époque la maison Gouin construisait, pour le gouvernement russe, un grand pont-route sur la Vistule, à Varsovie, avec MM. Cotard et Janicki comme Ingénieurs.

Sept ans plus tard, la même maison exécutait encore trente ponts pour la ligne de Bologoï à Rybinsk et entre autres un grand ouvrage sur le Volga à Rybinsk.

De 1859 à 1875, le Creusot, construisait des ponts sur l'Ouvod, la Sosnia et la Volschia.

La ligne de Poti à Tiflis a été construite par M. Meynier, comme entrepreneur général.

Ce n'est pas seulement à la construction des chemins de fer et à celle des ponts que la France a borné son concours en Russie. Elle a participé à de grandes entreprises de navigation, telles que les barrages de la Moskowa construits par le Creusot, les travaux de navigation pour le Volga, de nombreux dragages de canaux et du détroit de Kertch. A l'heure actuelle, les plus importantes entreprises françaises en Russie se rapportent aux mines et surtout à la grande industrie du pétrole, le combustible de l'avenir, dont les gisements sont si considérables dans toute la région caucasique.

En dehors des grands travaux publics, un certain nombre d'entreprises particulières méritent d'être rappelées :

La Compagnie des Eaux et du Gaz de Rostoff-sur-Don, dont l'Administrateur technique est M. de Saint-Léger, ancien élève de l'École Polytechnique ;

La Compagnie française et continentale qui a installé les usines à gaz de Moscou et Saint-Pétersbourg, et dont le directeur est M. Deleury;

La captation des eaux d'alimentation de la ville et du port militaire de Nicolaïeff, par MM. Fortin-Herrmann frères;

L'aciérie d'Alexandrowski, près de Saint-Pétersbourg, créée par M. Valton, en grande partie avec des capitaux français et avec le concours d'Ingénieurs français, MM. Armand, Louis Arnaud, Beau et de Boissieu ;

Les aciéries de Dombrowa (Pologne Russe), créées par M. Verdié, de Firminy, et constamment dirigées par un personnel français ;

Les exploitations de houille de grande importance organisées dans le Sud de la Russie par des Ingénieurs français, ainsi que les Mines de manganèse ouvertes dans le Caucase;

Les usines à fer de la famille Demidoff dans l'Oural, administrées par un Ingénieur français, M. Jaunez-Sponville, dans lesquelles notre

collègue, M. Valton, a installé et mis en marche une aciérie Bessemer et une aciérie Martin ;

Enfin la plus grande filature de la Russie, fabrique de tissage et blanchiment, fondée à Zyrardow, près Varsovie, par Philippe de Girard.

Suisse.

La Suisse, voisine de la France, devait bénéficier dans une large mesure de l'expansion que prenait notre industrie, vers cette même époque de 1855, et la presque totalité du réseau actuellement connu sous le nom de « Chemins de la Suisse occidentale » est due à nos Ingénieurs.

Cette Compagnie a été constituée sous le patronage de M. Emile Pereire par la fusion des trois lignes dites de l'ancien réseau, savoir :

1° La Compagnie de l'Ouest Suisse (150 *km*), dont les travaux, commencés en 1853 par des entrepreneurs anglais, furent peu après placés sous la direction de M. Léon Lalanne, alors Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, qui en confia l'exécution à des entrepreneurs français, et qui eût pour collaborateurs MM. Auguste Arnoux et Louis Michel, ingénieurs des Ponts et Chaussées. M. Bergeron fut entrepreneur général de la traction ;

2° La Compagnie de Lausanne à Fribourg (99 *km*), dont l'Ingénieur en chef fut M. de Nordling, notre éminent collègue, auquel succéda M. Durbach, Ingénieur des Ponts et Chaussées, sous la haute direction de MM. Thirion et Jacqmin. Parmi les ouvrages d'art, rendus nécessairement nombreux dans toutes les lignes suisses, par la configuration du pays, citons pour le réseau dont il s'agit, le viaduc métallique sur la Sarine, près Fribourg, construit par le Creusot en 1862, sur les plans et sous la direction de M. Ferdinand Mathieu, notre collègue, et les viaducs du Guin et de la Singine, exécutés par la maison Cail. Cette dernière a construit également le pont sur le Rhin à Stein et les ponts du Bas-Valais ;

3° La Compagnie Franco-Suisse (72 *km*), dont la direction de la construction fut confiée à M. Ruelle, alors Ingénieur en chef du Paris-Lyon.

A ces trois lignes vinrent s'ajouter celles de la Broye (Ingénieurs, MM. Chéronnet et Meyer) et celle de Jougne (Ingénieur, M. Félix Tourneux), qui, avec quelques autres de moindre importance, portèrent le réseau à une étendue de 635 *km*.

MM. Garella et Vauthier, ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées ont été attachés à la Compagnie du chemin de fer d'Italie par la vallée du Rhône et le Simplon. Ce dernier est l'auteur du projet du tunnel de base pour le Simplon.

La Société du Creusot a construit le pont sur le Rhin, à Bâle, et les ponts côté Sud de la ligne du Gothard en 1873 et 1874.

Les ingénieurs français prirent aussi une grande part au percement du tunnel du Saint-Gothard. On sait, en effet, que c'est à l'Entreprise Favre et au personnel qui la composait et grâce à l'emploi des machines (perforatrices, locomotives à air comprimé et autres) établies sous la direction tion de notre collègue et ancien professeur à l'École Centrale, M. Col-

ladon, et sorties pour la plupart du Creusot, que revient le grand honneur d'avoir assuré l'exécution de cette œuvre gigantesque.

Italie.

C'est aussi en 1855, au moment de la création des chemins de fer Sud-Autrichien-Lombard, qu'a commencé le grand courant de l'intervention des Ingénieurs français dans la construction des chemins de fer en Italie. On y trouve au début, MM. Busche, Behrens, Poirée, Guidon, Peltier, Richard, du Houx, Daigremont, puis, M. Amilhau devenu, en 1868, directeur des Chemins de fer de la Haute-Italie.

Ce courant a été se développant pendant près de quinze années, et a entraîné rapidement l'industrie française sous toutes ses formes, fourniture de matériel, construction de ponts, etc.....

Presque toutes les lignes de l'ancien royaume Lombardo-Vénitien ont été construites par des Ingénieurs français; il en estde même d'une grande partie des chemins de fer de l'Italie Centrale, notamment celle de Bologne à Pistoie, exécutée sous la direction de M. Protche, avec le concours de M. de Longraire.

Il est intéressant a un point de vue rétrospectif de rappeler que le premier chemin de fer construit en Italie fut concédé en 1836 à M. Armand Bayard de la Vingterie, Ingénieur français, associé avec ses frères, et avec M. de Vergès, Ingénieurs des Ponts et Chaussées. Ce chemin de fer est celui de Naples à Portici et à Castellamare (27 *k*) dont la première partie fut livrée à l'exploitation au mois d'octobre 1839.

C'est encore l'industrie française qui construisit les chemins de fer Romains, les chemins Méridionaux et les chemins Calabro-Siciliens, où les noms de MM. Vitali, Picard et Charles ont laissé de nombreuses traces de l'activité de nos Ingénieurs. Pour en donner une idée, je dirai que les Sociétés Vitali ont, à elles seules, exécuté dans ce pays plus de 1 200 *km* de chemins de fer.

Les chemins de fer en Vénétie furent établis sous la direction de M. Schlemmer avec M. Pontzen pour adjoint.

MM. Carvalho et Oudry, Ingénieurs des Ponts et Chaussées, ont appartenu à la Compagnie des chemins de fer de Rome à Civita-Vecchia. et MM. Émile Trélat et Pronnier, nos collègues, à la Compagnie du chemin de fer Pia Latina, dont l'Ingénieur en chef était M. Ducros, Ingénieur des Ponts et Chausssées.

En ce qui concerne les travaux d'art, le pont international sur le Rhône, à Culoz, présenta l'un des premiers exemples de fondations à l'air comprimé et inaugura la série des travaux de ce genre exécutés en Italie, à partir de cette époque, par la maison Gouin, qui y construisit également de nombreux ponts métalliques sous la direction de M. Lavalley, avec la collaboration de MM. Cotard, Villard et Guérin, notamment ceux des lignes de Milan à Venise, de Bologne à Plaisance, ainsi que les ponts de Magenta, du Tagliamento et plus tard du Pô, à Mezzana Corte, qui a coûté 8 500 000 *f*, de l'Adige, de l'Adda, du Bacchiglione, du Tibre, etc., dont la majeure partie avec fondations à l'air comprimé sous la direction de M. Fouquet et de ses collaborateurs MM. Godfernaux, Hainsselin, Gruan et Pellerin.

D'autres grands ouvrages très remarquables sur le Pô sont dus à la participation de la Maison Cail et de la Compagnie de Fives-Lille, notamment les ponts de Plaisance, de Ponte Lagoscuro et de Borgoforte.

La Maison Cail a construit les ponts des chemins Calabro-Siciliens et livré 46 locomotives à ces chemins et aux Méridionaux. Les usines Cail, Kœchlin et Graffenstaden, Gouin, Fives-Lille et du Creusot, ont fourni les locomotives des chemins de fer de la Haute Italie. La maison Cail a exécuté, sur le versant français du Mont-Cenis, le chemin de fer funiculaire Agudio.

La Société Joret a fait également dans ce pays des travaux d'une grande importance tels que les galeries et le dôme Victor-Emmanuel, à Milan, les gares de Rome, Bologne, Plaisance, Vérone, les ponts de la traversée des lacs, à Mantoue, et enfin, elle a collaboré à la construction du pont de Borgoforte.

Comme travaux maritimes, nous citerons le port de Gênes dont l'importance est de 30 millions, qui a été fait avec le concours de MM. Louis Dussaud et Chambon ; les deux bassins de radoub de Gênes, actuellement en construction et qui ont été confiés, à la suite d'un concours international, à MM. Zschokke et Terrier, nos collègues.

Ces Ingénieurs viennent encore de terminer, à Livourne un bassin de radoub, à Rome trois ponts et les quais du Tibre établis à l'air comprimé sur une longueur de 2 000 *m* et dont le coût est de 17 millions.

Le déssèchement du Lac Fucino, entrepris par le prince Alexandre Torlonia est regardé par les hommes compétents comme l'une des œuvres hydrauliques les plus importantes et les plus remarquables qui aient encore été exécutées. Commencés en 1854, les travaux n'ont été terminés qu'en 1871. Les projets et la mise en train des premiers travaux sont dus à l'ingénieur français M. de Montricher dont la réputation était déjà alors établie par son canal amenant les eaux de la Durance à Marseille. A sa mort, en 1858, il fut remplacé par M. Bermont qui conserva la direction des travaux jusqu'en 1869, époque à laquelle sa santé l'obligea à se retirer pour laisser la lourde charge de l'achèvement de cette grande œuvre à notre collègue M. Brisse.

M. Hersent a fait en Italie de nombreuses fondations de ponts à l'air comprimé, notamment celles du pont sur l'Adige qu'il exécuta avec M. Castor.

Nous ne saurions omettre que les immenses travaux de dragages des ports d'Italie, ont été commencés en 1864 par feu Charles Nepveu, membre de notre Société pour le compte de l'Entreprise générale, dans le personnel de laquelle figuraient nos collègues, MM. de Baritault, Chiesa, A. Mallet et D. Stappfer.

Il nous reste encore à signaler l'installation des Eaux de Venise et de Naples qui est due à des Sociétés françaises, San-Remo, due à MM. Fortin-Herrmann frères, ainsi que l'installation du Gaz de Naples, (M. Kraft, ingénieur des Ponts et Chaussées, directeur), d'Alexandrie, Gênes, Milan, Modène, Parme, dues à la Société l'*Union des Gaz*, (administrateur technique M. Salanson) et de Florence, Padoue, Venise, etc., (MM. Vautier et de Loriol, directeurs).

Ajoutons enfin que M. Decauville vient d'établir une succursale de ses ateliers à Diano-Marina, non loin de Gênes.

Espagne.

Notre prépondérance dans les travaux publics d'Espagne n'a pas été moindre qu'en Italie.

La presque totalité de ses chemins de fer est due à la France soit comme capital engagé soit comme construction ; même aujourd'hui encore, pour les trois plus importantes Compagnies (Nord de l'Espagne ; Madrid-Saragosse-Alicante ; et Chemins Andalous) ce sont des Ingénieurs français qui les dirigent et qui sont à la tête des principaux services de leur exploitation.

La *Compagnie du Nord de l'Espagne* a été fondée en 1857 par MM. Pereire ; elle compte aujourd'hui 2 800 *km* ayant coûté plus de 800 millions.

Elle a fusionné en 1878 avec la Compagnie de Saragosse à Barcelone, qui avait elle-même absorbé en 1866 celle de Saragosse à Pampelune.

Cette dernière Compagnie fondée en 1859 comptait au nombre de ses fondateurs M. Carvalho, ingénieur des Ponts et Chaussées ; ensuite elle avait été administrée par M. Chatelus, ingénieur en chef des Mines, ainsi que par M. Maurice Moyse, membre de notre Société, qui était son représentant en France.

Les deux grandes lignes de chemin de fer du Nord de l'Espagne, celle de Madrid à Irun et celle de Venta de Baños à Alar, sur une longueur de 780*km*, avec une dépense de 380 millions, ont été exécutées par nous. Elles ont présenté de très grandes difficultés surtout pour la traversée des Pyrénées (dont l'entreprise fut confiée à la maison Gouin, sous la direction de M. Lavalley et ensuite sous celle de M. Lemaire) et celle du Guadarrama, qui fut exécutée par M. Lesguillier, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, de 1862 à 1864.

Les études avaient été faites à l'origine par MM, Flachat et Le Chatelier.

Pour ne pas retarder la date officielle de l'inauguration du chemin, les travaux ont été poursuivis la nuit, les chantiers étant éclairés par l'électricité, chose extraordinaire pour l'époque; cet éclairage était dirigé par M. Bukaty, membre de la Société.

Les autres ingénieurs qui ont exécuté les travaux de cette ligne sont : MM. Bommard, Lalanne, Letourneur, Fournier, des Orgeries, Ladame, Guilloux, Lantard, Lanteirès, ingénieurs des Ponts et Chaussées, et MM. Chauveau des Roches et Collet, membres de la Société.

Dans le service du Matériel et de la Traction ont figuré MM. Le Sueur, Ricourt, Pronnier, Germond, Grébus, Proveux, Plainemaison et Villemer, tous membres de la Société.

A la direction de Madrid ont figuré MM. Noblemaire, Pirel, Lionnet, Waldeman, Guillaume, Biarez et Barat.

A la direction de Paris, MM. Collet, Marché, Carimantrand, Biarez, membres de la Société.

Parmi les lignes annexées au réseau du Nord, il y a lieu de citer celles d'Asturies-Galice et Léon, dont la construction a été reprise en 1880 par une Société française, et exécutée sous la direction de M. Amilhau, ingénieur des Ponts et Chaussées et de nos collègues, MM. Richard, Collet et Biarez. La construction de ce réseau des plus difficiles a néces-

sité des ouvrages d'art fort importants exécutés tant par la Compagnie de Fives-Lille que par ma maison.

Créée en 1858 par M. de Rothschild, *la Compagnie de Madrid-Saragosse et Alicante*, exploite un réseau de 2 700 *km* dont le coût de premier établissement dépasse 600 millions. Les études ont été faites et les travaux dirigés par des ingénieurs français dont plusieurs sont nos collègues : MM. Deglin, Prompt, Pirel, Le Masson, Chanson, du corps des Ponts et Chaussées ; Montesino, Levi-Alvarès, Biarez, Vauvilliers, Delaperrière, etc., ingénieurs civils. Les ingénieurs de la traction ont été, à l'origine : MM. Paquin, Le François, Riff, Albarett, Garcin, etc.

Son directeur général actuel, M. Montesino, Duc de la Victoire, est un ancien élève de l'Ecole Centrale ; ses principaux collaborateurs sont nos collègues, MM. Grébus et Levi-Alvarès.

Pour toutes les lignes de ce réseau le matériel fixe et roulant provient presque exclusivement d'usines françaises, telles que le Creusot, Fives-Lille, Cail, etc. La plupart des ponts métalliques ont été montés sous la direction de notre collègue M. Gatget.

Les lignes de Ciudad-Real à Badajoz et d'Almorchon à Belmez, annexées en 1880 à la Compagnie de Madrid-Saragosse-Alicante, avaient été construites par la maison Parent et Schaken, en participation avec la maison Cail, et nous trouvons encore bon nombre de nos collègues parmi les ingénieurs qui y ont participé : MM. Ducros, Dumaugin, Le Brun, Rey, Biarez, Delaunay, Juan Maria Blanca, et à Paris, au service central, MM. Pronnier et Marché.

La ligne de Madrid à Ciudad-Réal a été construite par M. Cachelièvre.

Quant à la *Compagnie des chemins de fer Andalous* tout son haut personnel (MM. Maeghermann, Paul, Delaperrière, Alessandri, Dargent) est français.

Son réseau, de 900 *km*, est dû en entier à des entrepreneurs français, parmi lesquels MM. Vitali et Picard, constructeurs des lignes de Malaga à Cordoue et de Cordoue à Grenade.

La ligne de Séville à Cadix a été dirigée par MM. Gauckler, ingénieur des Ponts et Chaussées, Chéronet, Deniel, Vial. Le service du matériel et de la traction a eu pour ingénieurs MM. Brüll et Falguerolles.

La ligne de Cordoue à Séville a été exécutée par M. Lionnet, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Rappelons encore que dès 1849 M. Flachat fut envoyé en mission en Espagne pour y étudier le chemin de fer de Gijon à Lanca, qui devait transporter au port de Gijon les houilles des mines de Lanca-Langreo; ce chemin de fer, étudié par M. Flachat, avec le concours de M. Mathieu, fut construit par M. Deligny, ancien élève de l'Ecole Centrale.

Le pont de Lora, sur le Guadalquivir, premier ouvrage métallique important exécuté en Espagne, est l'œuvre de M. de Dion, ancien président de notre Société. Dans le service du Matériel et de la Traction figurent MM. Etienne et Maire, membres de notre Société.

La ligne de *Madrid à Cacérès et au Portugal* a été construite par M. Ravel et dirigée par nos collègues, MM. Vauvilliers et Huguet.

La ligne de *Gérone à la frontière de France* a été étudiée par M. Ca-

méré, ingénieur des Ponts et Chaussées et construite sous la direction de M. Trône, dont je fus le collaborateur pour les travaux métalliques.

Encore en ce moment, nous construisons les lignes de Huesca à Canfranc, de Plasencia à Astorga (M. Ravel, ingénieur conseil à Madrid, MM. Bartissol et Duparchy, entrepreneurs généraux), et les nouvelles lignes d'Andalousie, dont la construction est dirigée par notre collègue, M. Delaperrière.

La Société des anciens établissements Cail a construit en 1884 le pont-route de Palma-del-Rio, sur le Guadalquivir. Elle avait déjà construit en participation avec la Compagnie de Fives-Lille les ponts des lignes d'Albacete à Carthagène, de Cordoue à Cadix et fourni les locomotives du Nord de l'Espagne.

Des fournitures considérables de dragues, remorqueurs, rails, locomotives ont été faites à ces Compagnies par nos grandes usines, le Creusot, Fives, Cail, Gouin.

Le Creusot, en fait d'ouvrage d'art important, a construit en Espagne le grand pont en arc d'El-Cinca.

A côté des chemins de fer, beaucoup d'autres industries ont dû une grande partie de leur essor au Génie Civil français, notamment l'industrie minière et celle du gaz.

Les principaux charbonnages de l'Espagne, mines d'Aller en Asturies, de Barruelo, près Santander, qui appartiennent aux chemins de fer du Nord de l'Espagne, d'Espiel, de Belmez et de la Réunion en Andalousie ont à leur tête nos collègues, MM. Parent, Mathieu, Thierry et Brard. M. Vial, depuis vingt-cinq ans, dirige les travaux des mines de Mercadal, près Santander.

M. Piquet a dirigé plusieurs importantes mines de plomb.

M. Tissot, élève de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne, a dirigé les houillères de Penarroyo, près de Cordoue.

M. Demanest, notre collègue, assisté des Ingénieurs français, MM. Eschats et Benoist, a créé et dirigé l'importante exploitation de minerais de fer appartenant à la Société franco-belge.

Notre collègue, M. Pourcel, auquel on doit la construction et la mise en activité de la grande aciérie *Altos Hornos* près de Bilbao, a ainsi introduit en Espagne la fabrication de l'acier par le procédé Bessemer.

M. Valton, avec le concours de notre collègue M. Barbary de Langlade, a établi et mis en train l'Aciérie de la Felguera (procédé Martin).

Les usines de Moreda et Gijon qui fabriquent spécialement le fil de fer et la pointe et qui alimentent une partie de l'Espagne, ont été fondées par Clausel de Coussergues, un de nos collègues, récemment décédé.

Pour l'industrie du Gaz je citerai :

La Société du Gaz de Madrid, fondée en 1858 par M. M. Pereire, et qui n'a pas cessé d'être dirigée par des français, MM. Bélanger, Pecatte, Cazes, Brémont et Litschfousse, nos collègues, avec M. Marché comme Ingénieur-Conseil ; elle est administrée par notre collègue M. Ellissen et comprend les Usines de Madrid, Valladolid, Logrono, Pampelune, Burgos, Jerès, Carthagène et Alicante.

Le Gaz Municipal de Barcelone, fondé par M. Lebon et qui est encore dirigé par lui, ainsi que les usines de Grenade, Almiria, Cadix, Grao

de Valence, Murcie, Puerto de Santa Maria, San Martin de Provençals et Santander.

Parmi les travaux divers je puis mentionner encore :

La canalisation de l'Èbre dont les remarquables travaux sont dus à MM. Carvallo, Lenté, et Lesguillier, Ingénieurs des Ponts et Chaussées ; nous citerons aussi MM. Job, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, auteur des projets, Leferme, Frémaux, Legros, Vauthier, Ingénieurs des Ponts et Chaussées.

Les distributions d'eau de Barcelone, de Santander et de Madrid ; (MM. Flachat, Lorentz frères et Molinos), de Carthagène (MM. Fortin-Hermann frères).

Les fabriques de sucre de canne, installées par la maison Cail en Andalousie ;

Enfin les travaux actuels du port de Bilbao qui sont confiés à MM. Couvreux et Allard.

Portugal.

Ce pays est aussi l'un de ceux où notre influence s'est le plus manifestée et où elle continue encore à s'exercer.

La grande ligne allant de Badajoz à Lisbonne, celle de Lisbonne à Porto, et celle plus récente de la Beira-Alta, dont l'Ingénieur à Paris était M. Wallerstein, ont été faites avec des capitaux français et par nos Ingénieurs.

La Compagnie Royale à laquelle appartiennent les lignes de Lisbonne à Porto, et de Lisbonne à Badajoz a été créée en 1857 sous le patronage du Crédit Industriel et Commercial.

La ligne de Lisbonne à Porto a été construite par M. Salamanca sous le contrôle de MM. Talabot et Mollard, Ingénieurs des Ponts et Chaussées.

Dans le service de l'Exploitation, nous trouvons MM. Ladame, Goudechaux, et Le François ancien élève de l'École des Mines, MM. d'Espregueira et Lopez, anciens élèves de l'École des Ponts et Chaussées, puis MM. Maeghermann et Vauvilliers, et dans le service de la Construction des nouvelles lignes, M. Ravel comme Ingénieur en chef.

La Compagnie de Fives-Lille a construit pour ces lignes les ponts d'Abrantès et de Santarem sur le Tage.

Le Creusot a construit des ponts sur le Tage, à Santarem et dans la province, ainsi que sur le Marais de Magos et sur le Zézère.

Ma maison a établi le grand pont sur le Douro à Porto, le pont de Vianna, ceux des lignes du Minho, du Douro et de la Beira-Alta.

Le pont-route de Porto est dû à notre collègue M. Seyrig.

La maison Cail a construit des ponts sur la ligne du Douro, notamment les viaducs de Palla, de Quebrada et de Sermenha. Elle a établi aussi le Pont-Aqueduc de Santo-Thyrso.

Il se construit en ce moment en Portugal des travaux de ports très considérables, l'un près de Porto, à Leixœs, par MM. Bartissol, Duparchy et Ravel ; l'autre à Lisbonne, par M. Hersent. Ce dernier port, complété par une voie ferrée allant jusqu'à Belem, aura une importance de plus de 70 millions.

M. Combemale exécute actuellement le port de Madère (possession portugaise), après avoir construit un tronçon important du Chemin de fer du Douro.

Enfin, MM. Fortin-Hermann frères ont construit le grand siphon du canal de l'Alviella.

Serbie.

Les nouvelles lignes Serbes sont dues tout entières aux Ingénieurs français. Étudiées par notre collègue Poncin, en qualité de directeur des chemins de fer, elles furent exécutées par l'entreprise Vitali sur les études faites ultérieurement par M. Sauvan, également comme directeur des chemins de fer serbes. Elles comprennent 501 *km*, savoir :

La ligne de Belgrade à Nisch, inaugurée en 1884, celles de Nisch à Wranja et à Pirot (frontière Bulgare), et celle de Velika-Planu à Semendria inaugurées en 1888. Le pont sur la Save entre Semlin et Belgrade a été construit par la Société de Fives-Lille.

Les noms de MM. Doury, Giraud et Zaleski, élèves de l'École Centrale ou de l'École libre des Ponts et Chaussées, y restent attachés pour les études, ainsi que ceux de MM. Émile Level, Anatole et Armand Ferré, et Champouillon pour l'exécution, et de MM. Firri, Latour de Brie, Chenut et Goldberg, pour l'Exploitation.

Roumanie.

En 1872, la Société des chemins de fer Roumains, d'accord avec la Société Autrichienne-Hongroise des chemins de fer de l'État, reprit l'achèvement de son réseau abandonné dans une très mauvaise situation par la Société allemande Stroussberg.

La nouvelle direction des travaux fut confiée à un Ingénieur français, M. Guilloux, Ingénieur des Ponts et Chaussées, qui s'entoura d'un grand nombre de nos compatriotes, parmi lesquels : MM. Ernest Polonceau, Édouard Morandière, Bonnemère, Sauvaget, Léon Netter, etc. En huit mois, on construisit entièrement 150 *km*, et on reconstruisit 600 *km* de chemins de fer.

Les travaux de ces lignes exécutés par des maisons françaises, notamment la maison Gouin, représentée par M. Jules Gouin, portèrent sur un ensemble d'environ 1 000 *km*, constituant les lignes de Roman à Galatz, de Barbosch-Braïla à Bucarest, de Bucarest à Verciorowa, de Plœsti à Prédéal, etc.

Les tabliers métalliques des lignes transversales formant le deuxième réseau de la Roumanie furent construits en 1886 et 1887 par la maison Lebrun, Pillé et Daydé.

MM. Bonnevay, Pellerin et Guérin, ce dernier, membre de notre Société, ont exécuté et exécutent encore de nombreux travaux à l'air comprimé.

Nous avons actuellement en ce pays d'importantes entreprises, et cette nation est une de celles qui restent le plus accessibles à notre influence en tant que travaux publics.

En ce qui concerne les installations d'usines, je dois citer celle d'une importante sucrerie-raffinerie à Sascut par la maison Cail, et celle du

Gaz de Bucarest par la Compagnie Générale du Gaz pour la France et l'Étranger dont l'Administrateur technique est notre collègue M. Ellissen.

Nous devons ajouter aussi que M. Léon Lalanne fut, vers 1848, appelé en Valachie, pour y organiser le service des Travaux Publics, et que par cette situation il eût l'occasion d'étudier la question si importante des Bouches du Danube.

Belgique.

Même dans ce pays, où l'industrie nationale favorisée par les richesses minières de son sol, par sa situation et par sa population ouvrière, et qui a atteint un développement tel qu'elle ne pouvait craindre la concurrence de notre industrie, l'intervention de notre Génie Civil a pu prendre et conserver encore une place très honorable dans les principaux travaux qui sont exécutés dans ce pays.

La maison Gouin y a construit un pont important sur l'Escaut, à Tamise, où l'on a appliqué pour la première fois en Belgique les fondations par l'air comprimé; elle a construit aussi le chemin de fer de Huy à Hesbaye-Condroz.

Je mentionne également la part qu'ont prise nos Ingénieurs dans l'établissement et la direction des usines métallurgiques et des exploitations minières. Je vous signale parmi les principaux travaux exécutés par des Français : le dressement et l'approfondissement du Canal de Gand à Terneuzen (MM. Castor, Couvreux et Hersent); les quais du bassin de l'Entrepôt, à Anvers (MM. Dollot et Cie); le barrage de Teurnemonde, et enfin les grands travaux maritimes du port d'Anvers, travaux dont l'importance est de 40 millions (MM. Couvreux et Hersent).

Je mentionne aussi avec plaisir l'entreprise des forts de la Meuse, qui vient d'être récemment confiée à MM. Hallier, Baratoux et Letellier, qui y emploient un personnel français.

On ne doit pas oublier que l'un des membres de la direction des chemins de fer de l'État belge est M. Belpaire, ancien Élève de l'École Centrale, membre correspondant de notre Société.

Au point de vue industriel, je puis vous signaler l'établissement des usines à gaz de Hasselt, Roulers, Turnhout, Ath, Vilvorde, Courcelles, etc., par la Compagnie générale du Gaz pour la France et l'Étranger, que j'ai déjà eu occasion de citer, et dont notre collègue, M. Ellissen, est l'administrateur technique.

La Société de Gaz et Eaux a établi la distribution de Namur, et MM. Fortin-Hermmann frères ont fait la distribution d'eau de la ville de Liége.

Le Chemin de fer du Nord exploite plusieurs lignes à la tête desquelles se trouvent MM. de Vissocq, Delebecque, Geoffroy et Bernard.

Hollande.

Comme chemins de fer, nous n'avons à signaler dans ce pays que la ligne d'Utrecht à Zwolle, exécutée par l'Entreprise Vitali.

Comme ponts métalliques, nous citerons le pont sur l'Yssel à Zwolle

(Compagnie de Fives-Lille en participation avec la maison Cail), les beaux ponts de Rotterdam (maison Cail); les très difficiles fondations à l'air comprimé du pont du Moerdyck et celles du pont de Dordrecht, exécutées par la Maison Gouin.

Danemark.

Je n'ai à mentionner pour ce pays que le pont construit par la Compagnie de Fives-Lille sur le Lümfjord, dont les fondations pneumatiques établies dans la vase ont été poussées à une profondeur de 36 *m*, laquelle n'a pas encore été dépassée.

Angleterre.

Nous avons naturellement peu de chose à y signaler.

Cependant, vous savez sans doute que les fondations pneumatiques du grand pont du Forth ont été faites par notre collègue, M. Coiseau, avec le matériel et le personnel des travaux des Docks d'Anvers.

Aux travaux du Canal maritime de Manchester, des excavateurs construits par M. Boulet sont employés par des entrepreneurs français.

Des fournitures de matériel de raffineries ont été faites en Angleterre par la maison Cail.

M. Ferdinand Gautier, notre collègue, aidé de MM. de Retz, Joret, Poulaine et Gerbault, a installe dans les usines de Pyle et de Blaime la fabrication toute française des alliages de fer et de manganèse.

MM. Bell frères, pour la conception et la mise en activité de leur colossale aciérie par déphosphoration de Clarence, ont fait appel à la grande expérience de notre collègue, M. Alexandre Pourcel.

Le petit chemin de fer à rails surélevés, établi par M. Lartigue sur la ligne de Listowel à Bally-Bunion, est le seul que nous ayons construit dans ce pays.

Mais, nous y luttons avec succès pour l'installation des phares électriques. Les phares établis sur les côtes même de la Grande-Bretagne, par M. de Méritens, et qui sont les plus puissants qui existent, les appareils optiques de MM. Sautter et Lemonnier, de MM. Barbier et Fenestre, montrent que, dans cette spécialité, la France tient le premier rang.

Grèce.

En Grèce, notre influence s'exerce encore d'une façon aussi notable que variée.

La construction du canal de Corinthe se poursuit et, malgré quelques difficultés, cet intéressant travail se terminera bientôt. Il sera l'œuvre de la Société des Ponts et Travaux en fer dirigée par M. Mauguin, membre de notre Société, et de la Société Vitali.

Le port de Patras est en construction par M. Magnac, en participation avec la Compagnie générale de Travaux publics et particuliers, dirigée par M. Terrier, notre collègue.

Le port de Catacolo, en face de l'ile de Xanthe, a été établi par M. Désiré Michel, de Marseille, ayant comme auxiliaires des agents français.

Les travaux de dessèchement du lac Copaïs, projetés par les ingénieurs français Sauvage et Taratte ont été entrepris par une société française sous la direction de MM. Pochet et Larousse.

Le premier chemin dans le Péloponèse, reliant le Pirée à Corinthe, à Patras, à Nauplies et à Catacolo, d'une longueur de 400 kilomètres, fut commencé en 1884, sous la direction de M. le baron Pasquier, qui fut aussi directeur de l'Exploitation. Les travaux exécutés par MM. Laporte et Miribel, comme entrepreneurs, s'élevèrent à 36 millions de francs.

Enfin, le chemin de fer de Volo à Salonique est l'œuvre de M. Lescanne-Perdoux.

Je dois surtout appuyer sur le rôle actuel de la mission française des Ponts et Chaussées, confiée dès 1883 à MM. Rondel, Quellenec, Gotteland et Hutin, entourés d'un personnel français.

Ces Ingénieurs ont déjà fait les projets détaillés de nombreuses routes ou chemins de fer et ports, dont l'exécution est commencée ou sur le point de l'être.

Enfin, de grands travaux de mines ont été entrepris dans ce pays ; je ne rappellerai que ceux du Laurium, dont la belle exploitation est restée exclusivement entre des mains françaises, sous la direction de nombreux élèves de l'École Centrale, parmi lesquels étaient MM. Huet et Geyler, et où est encore M. Collin, notre collègue, ainsi que MM. de Catelin et Chevallier. La société des anciens établissements Cail a construit récemment, pour cette compagnie, un wharf métallique à Ergastiria.

Turquie.

Les chemins ottomans ont été en grande partie construits ou dirigés par des Français.

Les Sociétés Vitali ont établi les lignes de Bellova à Constantinople et à Dédéagatch, et celle de Salonique à Mitrovitza, formant ensemble 1180 kilomètres ; elles viennent récemment de terminer les lignes de raccordement des chemins de fer ottomans avec les lignes européennes sur Salonique et Constantinople, d'une longueur de 132*k*.

Parmi les Ingénieurs de notre Société ayant participé à ces grands travaux, je rappellerai les noms de M. Goschler, un de vos anciens vice-présidents ; de MM. Tridon, Cotard, Gottereau, Sauvan et Fradet, Champouillon et Ferré, nos collègues.

Un autre de nos collègues, M. Gavand, a conçu, fondé et dirigé le funiculaire de Constantinople, dont les machines ont été étudiées et fournies par le Creusot, et il a dû déployer une grande ténacité pour mener cette œuvre à bonne fin.

MM. Dussaud frères ont construit le beau port et les quais de Smyrne.

Une Société française a obtenu la concession de la route de Beyrouth à Damas, et un de nos Ingénieurs des Ponts et Chaussées, M. Garetta, étudie en ce moment le port de Beyrouth et l'établissement d'un chemin de fer reliant Beyrouth à Damas.

Le chemin de fer de Haidar-Pache à Ismid a été construit sous la direction de l'Ingénieur français Mougel-Bey fils ; enfin, un Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées français, M. Galand est depuis de

longues années directeur des Travaux publics au ministère, à Constantinople.

Une Compagnie française entreprend la construction des chemins de fer de Jaffa à Jérusalem.

Le service des eaux de Constantinople a été installé par M. Boutan, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Les phares du bassin de la Méditerranée, de la mer Noire et de la mer Rouge, se trouvant sur les côtes de tous les pays dépendant de la Turquie avant 1879, ont été établis par Michel-Pacha et M. Camille Collas.

Enfin, nos Ingénieurs français, notamment M. Ellissen, ont installé de nombreuses usines à gaz en Turquie.

Égypte.

Je n'ai pas besoin de vous rappeler la grande œuvre du canal de Suez qui est toute française, et dont les collaborateurs sont tous connus de vous. (Le matériel de dragage, soit plus de 60 grandes dragues et toute la batellerie accessoire, a été fourni principalement par deux maisons françaises : la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, et la maison Gouin.)

Après le succès de cette œuvre, qui continuait en Égypte les traditions de Mougel-Bey, l'auteur du barrage du Nil, de Linant-Bey, de Mouchelet-Bey, qui construisit la ligne du Caire à Suez, de Rousseau-Bey qui fut pendant de longues années ingénieur-conseil du Khédive, MM. Voisin-Bey et Sciama-Bey maintinrent le renom des Ingénieurs français par les nombreux travaux auxquels ils prirent part, notamment le Grand-Pont sur le Nil, au Caire, construit par la Société de Fives-Lille.

Cette même Société, et surtout les usines Cail, y installèrent de nombreuses sucreries qui manifestèrent leur supériorité sur celles provenant de l'industrie anglaise. (Cette dernière maison a également fourni les premières locomotives des chemins de fer égyptiens.)

Il en fut de même pour tous les travaux d'irrigation où les pompes Farcot, installées dans l'usine de Katatbeh, sont un triomphe pour l'industrie française, et de même aussi pour les minoteries importantes installées par MM. Darblay, de Corbeil.

Les usines à gaz d'Alexandrie, du Caire et de Port-Saïd, ont été montées par des Compagnies françaises; les deux premières, par la Société Eugène Lebon et Cie, la troisième, par M. Monchicourt.

Les machines des eaux du Caire ont été fournies par le Creusot.

M. Bouissou a été chargé de l'exécution de la charpente métallique de la Bourse d'Alexandrie ainsi que d'importants travaux d'aménagements d'eaux, dont plusieurs pour le compte de M. Cordier, Ingénieur français.

Tunisie.

Nous avons exécuté dans ce pays de grands travaux, parmi lesquels le prolongement en Tunisie de la ligne de Bône à la frontière tunisienne, soit 200 *km* de chemins de fer établis par la Société de construction des Batignolles, et le port de Tunis qui, sous la direction des ingénieurs des Ponts et Chaussées français est exécuté par la même Société.

Le chemin de fer de Sousse à Kérouan, établi par M. Decauville, avec a voie de son système, est l'un des spécimens de ces chemins de fer à voie étroite qu'il a su répandre dans le monde entier, pour le plus grand honneur de notre industrie nationale.

La Société française des Eaux et du Gaz de Tunis et de la Goulette a été créée et est administrée par M. Charles Durand.

Chine et Japon.

Notre influence, si bien établie dans ces pays à l'origine par la mission Giquel, et la création de l'arsenal de Fou-Tchéou, tend à se maintenir.

Une mission composée d'Ingénieurs français et dirigée par M. Thévenet y a été envoyée, à la suite de laquelle les travaux de Port-Arthur ont été concédés à des maisons françaises parmi lesquelles les Sociétés de Fives-Lille et Cail.

Le Creusot fournit des blindages, des canons, des machines marines à la Chine, et livre en ce moment même des torpilleurs au Japon.

M. Decauville a établi également un de ses chemins de fer pour le transport des voyageurs.

M. Pellegrin, notre ancien collègue, a établi les usines à gaz de Yokohama et de Tokio, au Japon, et celle deShangaï, en Chine. Nous expédions au Japon des ponts et du matériel de toutes sortes. Nous sommes donc en droit d'espérer que notre industrie continuera à s'y développer.

Brésil.

L'intervention française au Brésil s'est manifestée dès l'origine des grands travaux qui s'y sont exécutés, et c'est d'abord dans l'établissement des routes que nous trouvons nos Ingénieurs à l'œuvre.

Ainsi, dès 1850, le tracé de la belle route qui relie Pétropolis à Porto-Novo a été fait par M. Vigouroux, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Précédemment et plus tard, MM. Vauthier et Fournié, également Ingénieurs des Ponts et Chaussées, ont, comme Ingénieurs en Chef de la province de Pernambuco, tracé de nombreuses routes et amélioré les ports.

En 1880, c'est une Société française, la Société de Dyle et Bacalan, qui entreprend avec un personnel français sous la direction de MM. Desgrange et Durieux, la construction du chemin de fer de Paramagua à Corityba, qui, sur un parcours de 120 *km.* franchit au moyen d'un tracé très bien étudié la chaine de la Serra-do-Mar.

De 1882 à 1885, la Société des Travaux Publics, dirigée par M. Villard, avec la collaboration de MM. Bonnafous et Max Lyon, exécute la ligne du chemin de fer de Rio-Grande do Sul à Bagé, sur un parcours de 280 *km.*

D'autre part, l'exécution des ponts métalliques, la fourniture du matériel fixe et roulant sont confiées aux maisons françaises telles que la Société de Fives-Lille, la Société de construction des Batignolles, la Société de Dyle et Bacalan, etc, etc.

Mais là ne s'arrête pas l'ingérence de nos Ingénieurs dans ce pays nouveau. L'industrie minière est également dirigée dans plusieurs centres importants, tels que les mines de Faria, par des Ingénieurs

français ; l'exploitation des mines d'or de Passagens a été installée par M. Mouchot, notre collègue. Nous y avons aussi installé des filatures de coton et des fabriques de dynamite ; la maison Cail y a construit d'importantes sucreries de cannes.

Notre enseignement technique y est représenté par l'École des Mines de Ouro-Preto, dirigée par un Ingénieur français, M. Ferrand, et un certain nombre de ses collaborateurs sont nos collègues. Il en est de même de l'École polytechnique de Rio-de-Janeiro.

Pérou.

Pendant longtemps, ce pays a été soumis exclusivement à l'influence anglaise ; mais, dans ces dernières années, nous y avons fait de grands travaux, notamment ceux du port du Callao.

La Société des Ateliers de construction de Fourchambault, dirigée par MM. Chayet et Jolant, membres de la Société, a construit, sur le projet de M. Ivan Flachat, notre collègue, le pont Balta, à Lima, avec arcs en fonte.

J'y ai moi-même entrepris le Môle et la Douane d'Arica et de nombreux môles métalliques, et enfin un certain nombre de ponts sur la ligne de Lima à la Oroya, qui franchit les Cordillères.

Plusieurs sucreries ont été installées par les usines Cail.

Notre collègue M. E. Roy a été appelé à établir une école d'Arts et Métiers à Lima, il y a quelques années.

République Argentine.

Ce pays qui est, en ce moment, l'un des plus sympathiques à l'industrie française, a confié une grande partie de ses travaux à nos constructeurs, notamment au Creusot, qui y a construit un grand nombre de ponts, tels que ceux du Rio-Rosario, du Rio-Tala, des charpentes, telles que celles de la gare de Mendoza, au pied des Andes, etc., etc., et aussi à la Société de Fives-Lille qui vient d'être chargée de la construction et de l'exploitation de 2 000 *km* de chemins de fer à voie de 1 *m*. La Société de construction des Batignolles est également concessionnaire d'une ligne de chemins de fer de 600 *km* à voie large.

Un chemin de fer à rail unique surélevé, du système Lartigue, a été concédé en 1887 à M. Pierre Prudhomme, pour être établi de Chilecito à Famatina, distance 55 *km*.

Au *Venezuela*, les Sociétés de Fives-Lille et de Construction des Batignolles vont construire des lignes à voie étroite.

La Société des Anciens Etablissements Cail qui vient de livrer quatre locomotives à la Société Française des Houillères du Neuri, y construit en ce moment, à Guanta, une importante estacade métallique pour l'embarquement des charbons.

Au *Chili*, M. Charmes a exécuté de nombreux travaux de ports, principalement à Valparaiso, et de 1840 à 1848 de nombreux Ingénieurs sortis de l'Ecole Centrale furent appelés dans ce pays pour y exécuter des travaux.

Dans *l'Équateur* de nombreux ponts métalliques sont fournis par la France.

Enfin, je citerai pour être complet la grande œuvre du Canal de Panama, dans *les Etats de Colombie*, et *du Mexique*, le port de la Véra-Cruz, sous la direction de MM. Thiers et Cazes, ainsi que l'exploitation des mines d'argent de Rincoù, dont notre collègue M. Mouchot, est directeur.

Limitant mon sujet aux travaux exécutés dans les pays étrangers, je ne vous parlerai pas de ceux très importants entrepris dans les colonies françaises : l'Algérie, la Réunion, le Sénégal, la Cochinchine et le Tonkin, malgré tout l'intérêt qu'ils présentent.

J'en ai donc fini maintenant avec cette énumération, sur laquelle, vous aurez peut-être trouvé que je me suis trop longuement étendu ; mais j'espère qu'elle vous aura fourni la preuve du grand fait que je vous avais dès l'abord énoncé, à savoir que non seulement par ses capitaux, mais encore et surtout par le talent de ses ingénieurs et de ses constructeurs la France a joué pendant de longues années en Europe un rôle prépondérant dans les travaux publics, et qu'il n'y a pas d'exagération à dire qu'elle s'est fait l'éducatrice d'un grand nombre de nations. *(Bravo! Bravo!)*

Mais il ne faut pas se dissimuler que cette action va en décroissant tout au moins en Europe.

Les causes de cette décroissance sont faciles à indiquer, et je les définirai d'un mot, en disant qu'elles se rattachent aux progrès mêmes dont nous avons été les initiateurs.

D'abord par nos grandes écoles, soit par celles des Mines et des Ponts et Chaussées, soit par l'École Centrale, nous avons libéralement fait l'éducation scientifique d'un grand nombre d'Ingénieurs étrangers.

Ceux-ci ont, à leur tour, fondé dans leurs propres pays des écoles nationales, dont le niveau s'est peu à peu élevé, et qui ont donné naissance à toute une génération d'Ingénieurs, en dehors de notre influence directe.

En outre, par l'exemple de nos travaux, les différents peuples chez lesquels nous les exécutions ont appris à se passer de nous par une tendance de plus en plus marquée à nationaliser leur industrie.

Aussi, sauf quelques rares exceptions, la plupart des pays de l'Europe dont je viens de vous parler, se sont peu à peu et successivement fermés devant nous, par suite de la concurrence locale, qui s'est faite de plus en plus redoutable dans chacun d'eux.

Quelles armes pouvons-nous avoir pour combattre cette concurrence?

La première, c'est la *conscience dans notre travail* que signalait déjà notre maître Flachat dans son discours de 1859 devant notre Société, et qu'il nous exhortait si vivement à conserver comme une sauvegarde. Cette qualité précieuse, nous avons su la maintenir, et elle se révèle encore dans tous nos travaux. C'est peut-être la principale des raisons qui les font souvent préférer à ceux de nos voisins.

Il nous faut, en second lieu, ne pas hésiter *à aller dans les pays lointains*, pour y prendre la place que l'Angleterre, qui nous a précédés dans la voie industrielle, y occupe depuis longtemps.

Vous avez pu voir, d'après les derniers exemples que j'ai cités, que

notre industrie n'y a pas manqué, et qu'elle a une tendance de plus en plus grande à une expansion lointaine.

D'une manière générale, on peut dire que, lorsqu'un pays s'ouvre à l'industrie, l'Anglais vient l'exploiter le premier ; le Français, avec ses habitudes méthodiques et consciencieuses, le remplace le plus souvent en faisant l'éducation industrielle du pays, qui alors développe ses propres moyens de production et arrive ainsi à se suffire à lui-même.

Mais, pour soutenir cette lutte difficile, nos Ingénieurs, nos constructeurs et nos entrepreneurs ont besoin de montrer toutes les qualités qui les caractérisent, et cela principalement dans les trois branches des travaux publics où notre supériorité reste incontestablement marquée :

1° Dans la construction des chemins de fer, ce qui distingue l'École Française, c'est la *qualité de ses tracés* ; cet art de suivre de près les terrains parait être un art qui nous est presque réservé.

2° Les fondations pneumatiques, qui seules ont rendu possible l'exécution de tant de ponts, constituent une science toute française à ses origines, puisque, inventée par Papin et mise en pratique par Triger, elle est restée encore une de celles que nous appliquons le mieux. L'Amérique seule nous a opposé de sérieux concurrents.

3° Pour les constructions métalliques, l'École Française continue à tenir l'un des premiers rangs et nos constructeurs redoutent peu de courir les chances des concours internationaux. Les Américains eux-mêmes ont une tendance à revenir à nos habitudes françaises en abandonnant leur système d'assemblage par axes, pour adopter nos assemblages rigides par rivure.

Nous n'avons donc pas lieu de nous laisser aller à aucun découragement, nous devons, au contraire, penser qu'un vaste champ s'ouvre encore devant nous et que l'occasion ne nous manquera pas de propager, par l'Industrie, l'influence civilisatrice de la France, à laquelle nos devanciers se sont si courageusement dévoués. *(Applaudissements.)*

J'ai encore, Messieurs et chers collègues, à vous dire quelques mots de l'Exposition, à la construction de laquelle les Ingénieurs Civils ont si puissamment contribué.

Déjà, en 1878, leur part était considérable puisque nous y trouvions les noms de notre cher et regretté collègue de Dion, de MM. Bourdais, Lecœuvre, des Ingénieurs des Sociétés Cail et de Fives-Lille, de MM. Baudet, Moisant, etc.

Cette part est plus grande encore pour 1889.

Grâce à l'esprit libéral de l'éminent M. Alphand, M. Contamin, notre Vice-président, a été choisi conmme Ingénieur en chef des constructions métalliques et notre collègue, M. Charton, comme Ingénieur en chef adjoint.

Vous savez avec quel éclat ces Ingénieurs ont rempli leurs fonctions. Leur œuvre principale, la galerie des machines, est un modèle de hardiesse, d'élégance et de judicieux emploi de la matière; elle sera, nous en sommes sûrs, un sujet d'admiration pour tous les Ingénieurs étrangers.

Le service de l'installation des machines et de l'électricité est confié à notre collègue, M. Vigreux, qui saura montrer, une fois de plus, les qualités d'Ingénieur qui l'ont désigné au choix de M. Georges Berger.

A côté d'eux, nous pouvons citer les noms d'un grand nombre de nos collègues, parmi lesquels je nommerai seulement MM. Pierron et Bourdon.

Toutes nos grandes maisons de construction ont coopéré à cet énorme travail, dans lequel il est entré plus de 30 000 tonnes de métal, et elles ont trouvé là une occasion de montrer l'ingéniosité et la hardiesse des moyens employés par elles pour le montage de ces belles charpentes. Rien n'es plus intéressant que la comparaison des divers procédés employés, et il résultera de celle-ci un grand enseignement et la manifestation des progrès remarquables dans l'art de la construction.

C'est à nous maintenant, messieurs et chers collègues, à nous tenir prêts, pour que la solennité à laquelle la France convie le monde entier soit digne d'elle, et pour que notre Société, en particulier, représente le Génie Civil avec la distinction et le talent que nos devanciers ont déployés dans des circonstances analogues.

En ce qui me concerne, je vous renouvelle l'assurance que vous pouvez compter sur tout mon dévouement, mais souvenez-vous bien que, ni mes collègues du bureau, ni moi, ne pouvons rien sans le concours effectif de chacun de vous.

Je vous le demande avec confiance; permettez-moi d'y compter dans l'intérêt de notre Société, et pour la renommée des Ingénieurs Civils français. *(Bravo! bravo! Applaudissements prolongés.)*

M. le Président revient sur ce qu'il a dit précédemment et ajoute que son travail ayant été préparé dans un court espace de temps, il craint qu'il ne renferme des omissions ou des erreurs involontaires; aussi, il prie instamment ceux qui en connaîtraient de vouloir bien les lui signaler : il sera très heureux de les réparer.

Pour se conformer à l'ordre du jour, M. le Président demande s'il y a des observations aux procès-verbaux des séances des 7 et 21 décembre 1888. — Il n'y a pas d'observations? Ces procès-verbaux sont adoptés.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de MM. Alexandre Neujean, ingénieur-chimiste, membre de la Société depuis 1883, et Fouaillet (Henri-Élie), membre depuis 1888.

Il a aussi le regret de joindre à ces deux noms celui de M. Piarron de Mondesir (Émile-Siméon), qui vient de mourir, et dont chacun connait les œuvres; ses travaux mathématiques sont très remarquables. Il était l'un des Ingénieurs de la grande Société des Chemins de fer russes, et faisait partie de la Société depuis 1879.

M. le Président a le plaisir d'annoncer les nominations et décorations suivantes :

1° Ont été nommés officiers de la Légion d'honneur : MM. E. Richemont. — E. Geneste. — G. Delaunay-Belleville.

2° Ont été nommés chevaliers de la Légion d'honneur : MM. A. Domange. — L. Baudet. — H. Bunel. — H. Brustlein. — J.-B. Boulet. —

L. Boutmy. — P. Bougarel. — A. Imbs. — A.-A. Petitjean. — T. de Brochocki.

3° A été nommé officier de l'Instruction publique : M. V. Rose.

4° Ont été nommés officiers d'Académie : MM. V. Contamin. — J. Bornèque. — E. Hézard. — J. Blaise.

5° A été nommé officier du mérite agricole : M. J. Jappy.

6° A été nommé officier de l'ordre du Medjidié : M. E. de Clomesnil.

A été nommé président du Tribunal de Commerce de la Seine : M. A. Guillotin.

A été nommé Commissaire Général de la Grèce auprès de l'exposition universelle de 1889 : M. E. Vlasto.

Par arrêté de M. le ministre du Commerce et de l'Industrie, Commissaire Général de l'exposition universelle de 1889, ont été nommés :

a) — Chargés des fonctions d'inspecteurs départementaux de l'enseignement technique : MM. A. Chavanne. — Stapfer. — Raabe. — Burot. — Béthouart. — Roques. — Marnay. — Portevin. — G. Denis. — — L. Le Brun. — G. Duthu, — F. Schabaver.

b) — Membres de la commision d'organisation du congrès international de Mécanique appliquée : MM. Badois. — Barba. — Baudry. — Boudenoot. — De Comberousse. — Delaunay-Belleville. — J. Farcot. — Gottschalk. — A. Mallet. — Mignon. — Max de Nansouty. — Périssé. — E. Polonceau. — G. Richard. — Richemont. — Ed. Simon. — — A. Tresca. — Vigreux.

c) — Membres de la commission du congrès international des mines et de la métallurgie : MM. Boucheron. — A. Brüll. — P. Buquet. — Clémandot. — A. Evrard. — Gautier. — A. Hallopeau. — S. Jordan. — — Remaury. — Rogé. — Schneider. — De Selle. — Wurgler.

d) — Membres du comité d'organisation du congrès international de la navigation fluviale : MM. Charles Cotard et P. Regnard.

e) — Membres du comité d'organisation du congrès international des procédés de construction : MM. Contamin. — Delmas. — G. Eiffel. — — Bertrand de Fontviolant. — Gouin. — H. Hersent. — Jolly. — — Lantrac. — L.-G. Le Brun. — Lippmann. — A. Moreau. — E. Muller. — Max de Nansouty.

f) — Membres du comité d'organisation du congrès international des accidents du travail : MM. Cauvet. — Gruner. — E. Muller. — Max de Nansouty. — Portevin. — F. Reymond.

g) — Congrès des Travaux maritimes : MM. J. Fleury. — Hersent. — Lavalley. — R. Le Brun. — Molinos.

M. le Président rappelle ensuite que, dans l'une des précédentes séances, MM. W. Barlow et Hirn ont été présentés comme membres honoraires.

Il y a lieu de voter aujourd'hui sur leur admission définitive.

MM. Barlow et Hirn sont reçus membres honoraires à l'unanimité.

La séance est levée à dix heures un quart.

Séance du 18 Janvier 1889.

Présidence de M. Eiffel

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. le Président demande s'il y a des observations sur le procès-verbal de la dernière séance. Personne ne demandant la parole, le procès-verbal est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de MM :

H.-A. Rudler, membre de la Société depuis 1877;

J.-G. Rist, membre de la Société depuis 1887;

Émile Vautier, membre de la Société depuis 1872.

M. le Secrétaire lit la notice nécrologique suivante sur M. Émile Vautier, qui a été adressée par M. Cornuault :

Vautier (Paul-Emile), né à Paris en 1818, sortait en 1839 de l'École Centrale. Il faisait partie par conséquent d'une des premières promotions qui ont compté dans leurs rangs, pour ne citer que quelques noms, Forquenot, Daguin, de la Rochette, Nozo, Mathias, Yvon-Villarceau et tant d'autres, ayant presque tous occupé une place d'élite dans la grande industrie. Cette place, Vautier la prenait sans tarder dans une industrie presque nouvelle à cette époque en France, celle du gaz.

Après avoir fondé et construit à Lyon, à sa sortie de l'École, une fabrique d'acide sulfurique, il se consacrait, dès 1844, à l'industrie du gaz, et donnait son active collaboration à M. Théodore de Seyne, le créateur à Lyon de plusieurs Compagnies gazières. Vautier, avec la sûreté de son jugement, la hauteur de ses vues, avait vite compris combien était vaste le champ réservé à l'art de l'éclairage.

Successivement, étaient construites et installées par ses soins les usines de Metz, de Montauban, d'Agen, de Perpignan, etc.

En 1849, à la mort de M. de Seyne, Vautier prenait la direction des usines existantes, en créait de nouvelles en France, à Angers, Reims, Limoges, etc., et étendait son action à l'étranger, en Italie, en Espagne.

C'est alors qu'il participa à l'établissement des usines de Venise, Florence, Alexandrie, Gênes, Parme, Milan, Padoue, Vérone, Malaga, etc.

Plus tard, il était appelé dans le Conseil d'Administration de la Compagnie du Gaz de Marseille, et, il y a quelques années enfin, dans celui de la Société Lyonnaise des Eaux et de l'Éclairage.

La notoriété de Vautier, dans l'industrie du gaz, était considérable. En 1876, il était élu président de la Société technique du Gaz ; la même année, il était désigné comme expert dans la grave contestation relative à la cession des Usines à gaz de Bordeaux, et il fit, en cette qualité, un travail des plus remarquables, non pas seulement par la science de gazier qu'il y déploya, mais encore par la façon élevée dont il sut défendre et faire prévaloir des principes de droit et d'équité, travail qui est resté comme un véritable modèle.

En dehors de l'industrie du gaz qui l'avait, comme nous l'avons dit presque exclusivement occupé pendant la plus grande partie de sa carrière, Vautier avait participé à nombre d'affaires importantes de la région lyonnaise, qui se disputaient son concours; il était Vice-Président du Conseil d'Administration du Crédit Lyonnais, et Administrateur de la Compagnie des Houillères de Montrambert et de La Béraudière, de la Société de l'Omnium lyonnais, des Verreries de la Loire et du Rhône, de la Société générale de navigation, etc., etc.

Il est enfin impossible de parler de Vautier sans, quittant le terrain industriel, dire un mot de l'homme de bien et de son inépuisable charité; il la voulait discrète et il est resté jusqu'à la fin l'homme modeste et bienveillant, dont la perte sera vivement ressentie par tous ceux qui l'ont approché et que la Société des Ingénieurs civils s'honore d'avoir compté parmi ses membres.

M. le Président remercie M. Cornuault de la notice nécrologique qu'il a bien voulu écrire sur M. Vautier, l'un de nos collègues les plus distingués; il ajoute que tous les membres de la Société s'associent aux regrets qu'éprouvent ses amis et sa famille.

M. le Président a le plaisir de faire part des nominations suivantes :

Sur la proposition de M. le Ministre de la Guerre, M. L. Salomon, Ingénieur en chef du matériel et de la traction au chemin de fer de l'Est, a été nommé chevalier de la Légion d'honneur:

M. Max de Nansouty a été nommé officier de l'instruction publique:

Il annonce aussi que Sir Frédéric-Joseph Bramwell, membre de la Société depuis 1875, a été élevé, par la reine d'Angleterre, à la dignité de baronnet, pour ses études professionnelles.

Par décision de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie, en date du 9 janvier 1889 ont été nommés membres du Comité d'organisation du Congrès international des habitations ouvrières :

MM. Cacheux;
Dietz-Monin (Ch.);
Guary (Henry);
Menier (Gaston);
Müller (Émile);
Trélat (Émile).

M. le Président donne communication d'une lettre en date du 1er janvier 1889, adressée à la Société par l'Académie royale des Sciences de Turin, annonçant l'ouverture d'un concours (Prix Bressa), ayant pour but de récompenser le savant ou l'inventeur, à quelque nation qu'il appartienne, lequel durant la période quadriennale de 1887-90; « au jugement de l'Académie des Sciences de Turin, aura fait la découverte la plus éclatante et la plus utile, ou qui aura produit l'ouvrage le plus célèbre en fait de sciences physiques et expérimentales, histoire naturelle, mathématiques pures et appliquées, chimie, physiologie et pathologie, sans exclure la géologie, l'histoire, la géographie et la statistique ».

Ce concours sera clos le 31 décembre 1890.

La somme destinée à ce prix sera de 12 000 *f* (douze mille francs).

Aucun des membres nationaux résidents ou non résidents de l'Académie des Sciences de Turin ne pourra concourir à ce prix.

M. le Président espère que plusieurs membres de la Société pourront présenter à ce concours quelques-uns de leurs travaux.

M. le Président annonce que notre collègue, M. Raffard, a fait don à la Bibliothèque de trois volumes relatifs à l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur et qui avaient appartenu à la Société. Ces volumes ont été retrouvés et rachetés par lui chez un marchand des quais où ils étaient mis en vente. Il adresse à M. Raffard les plus vifs remerciements. *(Très bien !)*

Il est donné lecture d'une lettre de M. Vigreux proposant de faire à l'une des prochaines séances l'analyse d'un ouvrage, offert par MM. Bernard et Cie, intitulé : ***Stabilité des constructions en fer et en acier et calcul de leurs dimensions***, par M. J. Weyrauch, professeur à l'École polytechnique de Stuttgard, édition française revue et augmentée par l'auteur et annotée par M. Michel Svilokossitch, ingénieur civil, ancien élève de l'École polytechnique de Zurich.

La proposition de M. Vigreux est acceptée.

M. le Président donne la parole à M. Trélat.

M. Trélat présente à la Société le dernier ouvrage écrit par Alfred Durand-Claye; il a été imprimé depuis sa mort et a pour titre : ***Le Desséchement du lac Copaïs. Dernière œuvre de Durand-Claye. Ouvrage offert à la Société des Ingénieurs civils en souvenir du bon accueil qu'il y a toujours trouvé.***

M. Trélat dit qu'il a été particulièrement chargé par Mme Durand-Claye de faire cette présentation qu'il se reprocherait de ne pas accompagner du témoignage recueilli plusieurs fois de la bouche de Durand-Claye, de sa reconnaissance pour la bienveillance avec laquelle il a toujours été accueilli à la Société des Ingénieurs civils. Il ajoute qu'il y a là pour lui un souvenir ineffaçable. C'est, en effet, à la Société qu'il l'a entendu pour la première fois ; c'est ici que s'est formée entre eux l'alliance qui a duré dix ans.... jusqu'à la mort de Durand-Claye, qui ne lui permet pas de recueillir aujourd'hui le fruit de ses luttes si généreuses et si courageuses. *(Applaudissements.)*

M. le Président remercie Mme Durand-Claye de ce souvenir et s'associe à M. Trélat pour exprimer, au nom de la Société, les vifs regrets que la perte de cet éminent ingénieur nous a fait éprouver. (*Applaudissements*).

M. Brüll a la parole pour rendre compte de la visite qu'a faite la Société le 29 décembre dernier, à Joinville-le-Pont, où M. Maurice Lévy a expérimenté la traction funiculaire des bateaux sur les canaux. Il s'exprime en ces termes :

On a souvent proposé de haler les bateaux sur les canaux, à l'aide d'un câble sans fin actionné par un moteur fixe et dont les deux brins marchent le long des rives dans l'une et l'autre direction.

En 1874, M. Riche, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Ingénieur de la Compagnie du canal de la Sambre, faisait exécuter, à Maubeuge, des essais de traction par câble sans fin.

M. Duponchel, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à Montpellier, combinait en 1879 un système de halage funiculaire.

On connait aussi le système de traction des bateaux par câble marcheur de M. l'Ingénieur italien Rigoni, qui a été expérimenté en 1882 sur le canal de la Campine, puis exposé à Anvers en 1885 et à Bruxelles en 1888. Cette invention a été essayée à Paris sur le canal Saint-Martin.

Nous citerons enfin, parmi ceux qui travaillent depuis longtemps cette question, notre collègue M. P. Oriolle, constructeur à Nantes. M. Oriolle a essayé son procédé de traction sur 3 *km* environ du canal de Saint-Quentin, à l'écluse de Tergnier, et il a étudié récemment des perfectionnements qu'il se propose d'expérimenter.

En dépit d'assez nombreux efforts, que nous n'avons pu tous rappeler, le problème ne peut être considéré comme pratiquement résolu. C'est qu'il présente, en effet, de grandes difficultés.

Le câble ne peut pas, par la nature même des choses, être placé dans la direction de l'effort de traction qu'il doit exercer. Il agit nécessairement par dessous et latéralement. La composante transversale de la réaction sans cesse variable du bateau donne des difficultés pour le guidage de la corde.

Il faut de toute nécessité pouvoir rendre chaque bateau, en tout point du parcours, solidaire ou indépendant de l'un ou de l'autre brin du câble et il n'est pas aisé d'atteindre ce résultat sans augmenter le personnel, très restreint actuellement, employé sur les péniches.

L'effort de halage d'un même bateau est très variable dans les biefs et surtout dans les écluses ; il est, de plus, considérable en valeur absolue, puisqu'il se compte par centaines de kilogrammes pour un seul bateau. Lorsqu'une ou plusieurs péniches s'accrochent ou se décrochent inopinément, la répartition des tensions sur les diverses parties du câble change brusquement ; le câble arrive difficilement à un régime permanent, et ces fluctuations répétées des efforts lui donnent à chaque instant une forme nouvelle et un mode d'action différent sur ses supports.

Pour atténuer les effets nuisibles de cette incessante variation, il faut recourir à des dispositions qui ne sont pas sans inconvénients.

Malgré les difficultés du problème, le Ministère des travaux publics a voulu en poursuivre la solution. Le développement de notre réseau de canaux, l'importance croissante du trafic, qui, en certains points, parait arrivé à la limite de capacité de la voie, justifient pleinement cette décision. M. Guillain, directeur de la navigation, a chargé M. Maurice Lévy, ingénieur en chef des ponts et chaussées, d'étudier les divers moyens de traction mécanique ou électrique des bateaux, et c'est la traction par câble télédynamique qu'il a paru convenable d'essayer tout d'abord.

D'après les explications qu'a bien voulu nous fournir M. l'ingénieur des ponts et chaussées, G. Pavie, collaborateur de M. Maurice Lévy, voici les éléments principaux du système que l'on se propose d'appliquer.

Des stations de force motrice hydraulique ou à vapeur seraient établies de 20 en 20 *km* au bord du canal à exploiter.

Chaque machine donnerait le mouvement à deux câbles de 20 000 *m* de long chacun, desservant deux sections contiguës du canal ayant chacune une longueur de 10 *km*.

Sur une section supposée rectiligne, le câble affecte la figure générale d'un rectangle de 10 000 *m* de long et d'une largeur égale à celle du canal et des chemins de halage qui le bordent. Aux quatre angles sont solidement établies des poulies horizontales. La machine commande le câble au voisinage de l'un de ces angles à l'aide d'une poulie motrice à adhérence. Au même endroit le câble fait un demi-tour sur une autre poulie montée sur un chariot tendeur. Les deux brins du câble qui longent le bord extérieur des chemins de halage sont supportés à des distances de 60 *m* ou au delà, suivant les cas, par des poulies à rebords. Si le tracé comporte des courbes, on dispose, sur le côté extérieur et sur le côté intérieur de la courbe, des poulies d'inflexion qui sont à peu près horizontales, mais que l'on cherche à placer dans le plan où doit se mettre le câble de part et d'autre de la poulie.

La vitesse du câble est fixée à 0,97 *m*, soit 3 1/2 *km* à l'heure. C'est une vitesse un peu plus grande que celle du halage par chevaux.

La durée d'un éclusage étant d'une vingtaine de minutes, les points d'amarrage sur le câble seront distancés de 1 200 *m* à peu près l'un de l'autre. Toutefois on en disposera, au lieu d'un seul, deux, séparés d'une quarantaine de mètres, afin que si un bateau manque de s'attacher au premier, il puisse profiter du second sans subir une perte de temps appréciable. D'après ces dispositions, il pourra y avoir jusqu'à 16 bateaux attachés au câble et on évalue l'effort de traction maximun qui correspond à ce cas à 7 000 *kg*. Les machines seront de 150 chevaux chacune.

M. Maurice Lévy, après avoir analysé le mouvement irrégulier des câbles latéraux, a pensé que le seul moyen d'y remédier consistait à donner au câble une surtension considérable et calculée de façon à en maintenir les oscillations dans des limites assignées d'avance.

L'organe d'amarrage fixé au câble est étudié de façon à passer librement sur les poulies, à recevoir facilement l'amarre et à ne pouvoir jamais la laisser enrouler autour du câble, afin qu'elle puisse se dégager facilement.

Le bout de la corde d'amarre qui est sur le bateau s'attache à l'arrière d'une façon telle qu'on puisse mollir à volonté la remorque. L'autre bout s'accroche au câble sans fin à l'aide d'un appareil spécial combiné de manière à rendre l'amarrage facile et à permettre à tout instant au batelier, sans qu'il doive quitter son bord, de détacher son bateau du câble.

Les poulies de support et les poulies des courbes sont faites de façon que la corde d'amarrage, qui s'engage sur la gorge avec le câble principal, s'en dégage sûrement sans pouvoir en faire sortir ce dernier.

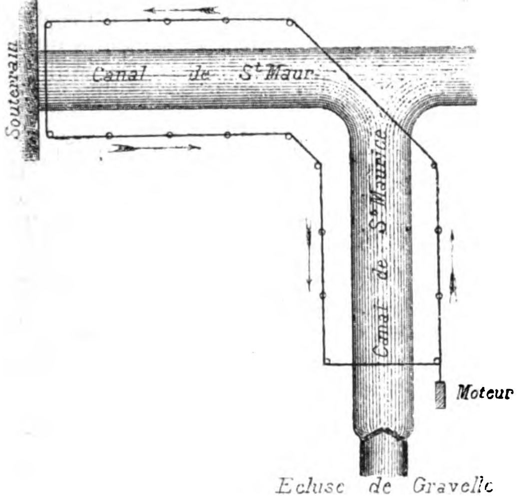
Le système ne parait pas comporter quant à présent de dispositions spéciales pour manœuvrer les bateaux aux abords et dans les sas des écluses. Il est combiné pour le service des canaux à grand trafic, comme par exemple un million de tonnes par an, sur lesquels le halage de tous les bateaux s'effectuerait obligatoirement par le câble télédynamique.

Une première expérimentation de ce procédé de halage vient d'avoir lieu à la jonction du canal Saint-Maurice, qui longe la Marne jusqu'à Charenton, avec le canal Saint-Maur, qui coupe à Joinville-le-Pont la boucle de Marne.

L'essai a été fait depuis la porte d'amont de l'écluse de Gravelle, sur

le canal Saint-Maurice, jusqu'au souterrain de Saint-Maur, sur la branche amont du canal Saint-Maur. Les deux portions de canal forment un angle droit ; les deux côtés de l'angle sont à peu près d'égale longueur et mesurent ensemble un développement de 650 *m*.

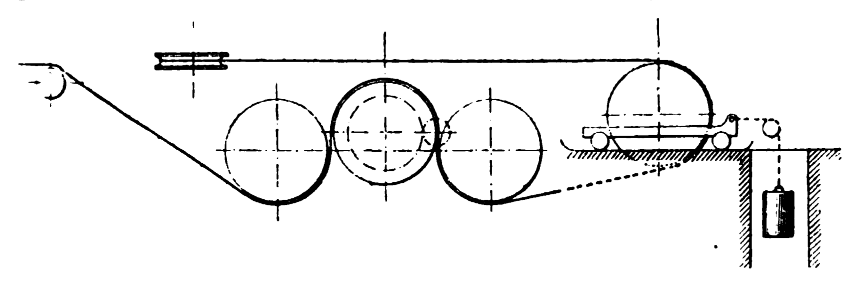
L'installation a été faite sous la direction de M. Pavie. Les travaux ont été exécutés par la Compagnie de Fives-Lille, par les soins de MM. Duval, directeur général, et Bassère, ingénieur en chef.



Le moteur est installé en amont de l'écluse sur la rive gauche. Le câble, pour recevoir l'effort d'entraînement et la surtension, fait à cet endroit une grande boucle dans le plan vertical. De là, le brin inférieur suit le chemin de halage jusqu'à la jonction des deux canaux, traverse en s'infléchissant de 90 degrés le canal Saint-Maur, longe la rive de ce canal, puis le traverse près du souterrain ; il revient ensuite sur l'autre bord du canal Saint-Maur, puis s'infléchit perpendiculairement et prend la rive droite du canal Saint-Maurice ; le câble traverse celui-ci, tourne d'un angle droit vers l'écluse et gagne le dessus de l'appareil d'entraînement.

Le moteur est une locomobile de 15 chevaux qui ne développe d'ordinaire qu'une force de 8 ou 10 chevaux. Il commande par courroie un arbre sur lequel est calé un pignon. Ce pignon engrène avec une roue dentée qui fait 9 ou 10 tours par minute. C'est l'axe de cette roue qui est l'arbre moteur de l'appareil. Sur cet arbre est calée une roue de 2 *m* de diamètre garnie de bois à la jante. Deux roues à gorge du même diamètre placées de part et d'autre de la roue d'entraînement, obligent le câble à s'enrouler autour de la demi-circonférence de celle-ci.

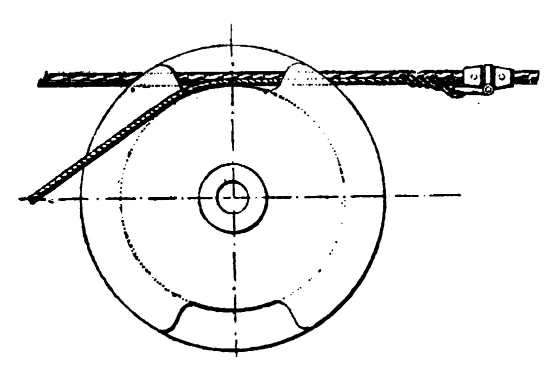
La poulie de tension, du même diamètre, est montée sur un wagonnet posé sur un chemin de roulement d'environ 7 *m* de longueur. Et ce cha-



riot est tiré, à l'aide d'une grosse chaine qui s'infléchit sur une poulie, par un poids de 7 000 *kg* mobile dans un puits vertical.

Les quatre poulies d'angle ont 2 *m* de diamètre.

Les poulies verticales de support sont au nombre de 10 et sont montées sur des bâtis d'environ 3 *m* de hauteur ; elles ont 0,600 *m* de diamètre, 0,120 *m* de largeur au fond de la gorge et 0,200 *m* au bord des joues inclinées. Sur la joue placée du côté du canal, on a découpé deux évidements évasés ayant au fond 0,160 *m* de largeur. L'amarre, amenée par le câble sur la gorge de la poulie, s'échappe par celui de ces évidements qui se présente le premier, sollicitée par la composante transversale de sa tension, sans que le câble, en raison de sa raideur, puisse se dégager par la même ouverture. Là où l'on peut craindre que le câble, par l'effet de secousses soulevantes puisse quitter la gorge de la poulie, on installe au-dessus de celle-ci une barre de fer rond ou un petit galet.



Les quatre poulies d'inflexion placées à la jonction des canaux Saint-Maur et Saint-Maurice, sont légèrement obliques sur le plan horizontal. Elles ont 1,400 *m* de diamètre et leur joue supérieure porte aussi des évidements régulièrement espacés sur leur circonférence. Les deux poulies de la courbe extérieure qui sont forcément placées entre le câble et le canal, sont en porte-à-faux au bas de l'arbre sur lequel elles sont calées, afin que l'amarre, qui se dégage en se rapprochant de l'axe de la poulie, ne rencontre aucun obstacle sur sa route. Il n'en est pas de même pour les deux autres poulies d'inflexion, sur la courbe intérieure, car le câble s'enroulant sur la jante du côté du canal, l'amarre se dégage en s'éloignant de l'axe de la poulie.

Le câble est composé de 10 torons enroulés à raison d'un tour par 15 *m* autour d'une âme en chanvre goudronné. Chaque toron est formé de 6 fils n° 15 de la jauge de Paris (2,59 *mm* de diamètre) commis autour d'une âme en chanvre goudronné. Le diamètre du câble est de 31 *mm*. La section transversale du métal est de 316 mm^2. Les fils sont en acier et supportent avant rupture un effort de traction de 120 *kg* par mm^2, ce qui donne au câble 38 *t* de résistance à la rupture. Son poids est de 2,800 *kg* par mètre.

La charge de 7 000 *kg* appliquée au chariot tendeur produit sur le câble une tension de 3 500 *kg* ou 11 *kg* par mm^2 de métal. L'enroulement sur les poulies, en les supposant toutes de 2,000 *m* de diamètre, donne, pour un fil de 2,6 *mm*, environ 26 *kg* par mm^2 sur les fibres les plus tendues. Comme un câble de 2,800 *kg* par *m*, posé sur une section de 10 *km*, représente déjà une dépense d'une quarantaine de mille francs, il

est peu probable que, dans la pratique, on ait recours à un plus gros câble. Si donc on admet la section de 316 *mm*² pour un câble pouvant exercer un effort de traction total de 7 000 *kg*, cela donnera une tension de 22 *kg* par *mm*². L'effort total maximum serait ainsi de :

11 + 26 + 22 = 59 *kg* par *mm*², abstraction faite du surcroît de tension nécessaire pour produire l'enroulement du câble et la rotation des poulies.

Le câble porte deux manilles d'amarrage peu éloignées l'une de l'autre et dont on emploie l'une ou l'autre à volonté. La manille est solidaire du câble pendant sa marche, mais pour que la torsion de celui-ci ne puisse produire l'enroulement de l'amarre, la manille tourne librement autour du câble. Elle est articulée de façon que la traction de l'amarre ne tende pas à courber le câble.

La corde en chanvre servant à amarrer le bateau au câble a une centaine de mètres de longueur. Cette longueur est formée de deux parties comprenant entre elles l'appareil de déclanchement et dont l'une se relie au câble et l'autre au bateau.

Le brin allant au câble a une dizaine de mètres de long. Le bout libre de ce brin s'enfile dans l'anneau suspendu à la manille du câble, puis se redouble en une boucle de 5 *m* de longueur et vient s'attacher dans l'appareil d'enclenchement. Une tige ronde en fer formant verrou à ressort, passe à travers un œil disposé à l'extrémité de la corde, et fermant ainsi la boucle, rend la corde d'amarre solidaire du câble. Le verrou peut être tiré du bateau par une cordelette de manœuvre pour lâcher la boucle et détacher l'amarre du câble.

Le brin de l'amarre allant au bateau s'infléchit à l'arrière sur une bitte et s'attache ensuite au tambour d'un treuil à frein, de façon qu'on puisse mollir à volonté l'amarre. Le treuil n'est pas, dit-on nécessaire et les mariniers pourront faire les mêmes manœuvres en enroulant la corde autour des bittes du bateau. Une corde partant de l'avant vient prendre l'amarre dans une boucle de façon que la tension combinée avec l'action de la barre tire le bateau suivant son axe. La cordelette du verrou de déclenchement reste molle et s'attache sur le bateau.

Un groupe nombreux de membres de notre Société, sous la conduite de notre excellent Président, M. Reymond, a pu assister le samedi 29 décembre, avec l'obligeante autorisation de M. Maurice Lévy, à une expérience de traction dirigée par M. l'ingénieur Pavie.

Le bateau qu'il s'agissait de haler et qui stationnait en amont de l'écluse de Gravelle, se distinguait, par les formes de son avant et de son arrière, des péniches presque cubiques qui fréquentent le plus communément nos canaux. Il était chargé de pierres et pouvait en porter de 150 à 200 *t*.

On évaluait à 340 *kg* l'effort nécessaire pour le haler à la vitesse de 3 1/2 *km* à l'heure.

Le bateau était muni d'un treuil pour la manœuvre de l'amarre. Le personnel était composé de trois hommes, mais on nous a fait observer que deux pourraient suffire.

Le câble étant en marche, on a envoyé à terre l'appareil d'enclenchement. Le bout de l'amarre a été enfilé dans la manille du câble et ra-

mené au verrou. Pour éviter le passage brusque du repos à la marche en pleine vitesse, on a manœuvré le treuil pour laisser filer quelques mètres d'amarre. Le bateau s'est trouvé en peu d'instants entraîné sans choc à la vitesse normale. La manœuvre de la barre paraissait facile et le mouvement était doux et régulier. En arrivant à la jonction des deux canaux où le bateau doit évoluer d'un angle droit sur une surface très limitée, on a molli l'amarre par trois fois à l'aide du treuil tout en manœuvrant le gouvernail. Le bateau s'est trouvé alors dans le canal Saint-Maur et a été régulièrement halé jusqu'à l'approche du souterrain. Pour le dégager du câble, au lieu de tirer directement la cordelette du verrou, on a molli un peu l'amarre au treuil ce qui a aussitôt raidi la cordelette et produit le déclenchement. Le retour s'est effectué d'une façon tout aussi satisfaisante en reliant l'amarre à l'autre brin du câble. La manœuvre à la jonction des deux canaux a été plus simple encore que pour le voyage d'aller. En revenant à l'écluse nous avons remarqué que le bateau, après avoir abandonné le câble conservait assez de vitesse acquise pour entrer facilement dans le sas où il y avait d'ailleurs un léger courant favorable.

Nous avons observé que le câble ne prend nulle part des flèches exagérées et ne subit que des ondulations de peu d'amplitude. Mais nous avons cru remarquer que la cordelette d'amarre qui doit à tout instant pouvoir tirer le verrou de déclenchement avait quelque tendance à s'enrouler autour du câble d'amarre.

Nous avons examiné les poulies en fonction et il nous a paru que le câble principal porte le plus souvent contre la joue la plus voisine du canal et frotte contre cette joue. Le câble n'a montré aucune tendance à sortir de la gorge des poulies par les évidements qu'elle présente, tandis que le dégagement de l'amarre par ces évidements s'est produit dans de bonnes conditions. Ce dégagement ne pourrait être douteux qu'au cas où l'amarre se trouverait mollie par un ralentissement accidentel du câble principal.

Nous avons regardé attentivement le câble métallique et la poulie motrice. Les torons du câble ne s'appliquent plus exactement l'un contre l'autre, il est sorti beaucoup de goudron. La garniture en bois de la poulie motrice s'est creusée assez profondément et il semble qu'il s'y soit produit des glissements du câble.

M. Pavie nous a donné pendant l'expérience toutes les explications désirables avec une courtoisie et une obligeance dont nous le remercions. Nous présentons aussi nos remerciements à M. Maurice Lévy et nous souhaitons bon succès à la tentative hardie de ce savant ingénieur. *(Très bien. Applaudissements.)*

M. le Président remercie, au nom de la Société, M. Maurice Lévy qui a bien voulu nous autoriser à visiter l'installation établie sous sa direction et où ont été faites devant nous de très belles et très intéressantes expériences.

Il remercie également M. Pavie qui nous a donné tous les renseignements que nous avons demandés.

M. Maurice Lévy nous ayant fait l'honneur d'assister à notre séance,

la Société sera très heureuse de l'entendre s'il veut bien prendre la parole pour présenter quelques observations complémentaires.

M. Maurice Lévy dit qu'il n'a aucune observation à faire ; il n'a que des remerciements à adresser à M. Brüll pour le rapport courtois, fort bien fait et très étudié qu'il a présenté à la Société.

Il s'excuse de n'avoir pas pu conduire lui-même la Société; il aurait été très heureux de lui expliquer lui-même le système de traction qu'il a imaginé.

En ce qui touche le rapport de M. A. Brüll, il n'a que peu de mots à dire :

Le seul point où il est en désaccord avec lui, c'est en ce qui concerne la tension du câble. Il croit qu'il s'en faut de beaucoup que le câble supporte une tension de 59 *kg* par millimètre carré; sa résistance à la rupture est de 120 *kg*, or, s'il avait supporté, depuis six mois qu'il est en expérience, une tension de 59 *kg*, il est probable qu'il ne serait plus dans l'état où les membres de la Société l'ont vu. Il est très déformé, et cela pour deux raisons : d'abord parce que l'âme est en chanvre; ce qui ne paraît pas une bonne disposition (pour les expériences qui seront faites ultérieurement, le câble sera tout en acier): ensuite le câble a été coupé plusieurs fois pour modifier le mode d'attache, qui n'a pas réussi du premier coup.

Après toutes les fatigues et les affaiblissements qu'il a ainsi subis, la charge de rupture, aux points les plus faibles, ne doit pas dépasser 80 *kg*; et si on avait atteint couramment 59 *kg*, il est probable qu'il y a longtemgs que le câble n'existerait plus.

M. Maurice Lévy ne croit pas à l'exactitude de la formule de résistance des matériaux, sur laquelle s'appuie M. Brüll pour arriver au chiffre de 59 *kg*.

En effet, M. Brüll trouve que lorsqu'un câble s'enroule sur une poulie de 2 *m* de diamètre, la tension est de 26 *kg;* il n'a point fait lui-même ce calcul, mais il ne croit pas qu'un câble qu'on enroule sur un tambour de 2 *m* de diamètre supporte une tension de 26 *kg*. Il sait bien que la formule de la résistance des matériaux donne ce résultat; mais, si c'était exact, il serait impossible de faire un ressort. Or, si l'on prend un fil de 2 *mm* de diamètre.

M. A. Brüll. 2,6 *mm*.

M. Maurice Lévy dit que ce sont des fils de 2 *mm* de diamètre. Si un fil de 2 *mm* de diamètre qu'on enroule sur une poulie de 2 *m* de diamètre, acquiert une tension de 20 *kg*, il serait impossible de faire un ressort avec ce fil.

Cependant M. Maurice Lévy a pris un fil de son câble, il l'a enroulé autour de son doigt ou autour d'un cylindre de 5 *cm* de diamètre, et il en forme un ressort. Eh bien, si la formule était exacte, en considérant le rapport de 2 *m* à 5 *cm*, le fil supporterait une tension 40 fois plus grande, c'est-à-dire de 800 *kg* par millimètre carré; or, il se rompt à 120 *kg* et il serait par conséquent impossible de l'enrouler une seule fois; ce qui porte à croire que la formule de la résistance des matériaux est inexacte.

D'autre part, quand M. Maurice Lévy a établi son projet, il a compté

pour le contrepoids sur un chiffre de 8 *kg* par millimètre carré ; il ne dépasse pas 10, tandis que M. Brüll l'évalue à 11 *kg*.

La tension considérable qu'il donne au câble est une condition nécessaire et c'est à cela qu'il attribue le succès qu'il a obtenu.

Le câble doit être très tendu, et cela est facile à comprendre. En effet, le câble ayant une très grande tension permanente, lorsqu'on y attache un bateau, la surtension qui en résulte est très faible, tandis que si on calculait le câble d'après les formules habituelles, chaque fois qu'on attacherait un bateau, on aurait des oscillations non seulement verticales, mais aussi horizontales, et on finirait par avoir un câble qui tressauterait sur les supports. C'est ce qui s'est produit lors des expériences de la Ville de Paris au canal Saint-Martin. La Ville a fait des dépenses assez considérables pour expérimenter le système d'un ingénieur italien, M. Rigoni ; mais, dès les premiers essais, on a reconnu que le système n'était pas pratique pour bien des raisons, parmi lesquelles une tension insuffisante.

Les excellents résultats que M. Maurice Lévy a obtenus proviennent en premier lieu de la très grande tension qu'il a donnée au câble. Mais, en résulte-t-il que ce câble n'aura qu'une faible durée? Il ne le croit pas, car on fait des fils d'acier qui ne rompent qu'à 150 *kg*. Il a l'intention de donner aux fils une tension permanente de 10 *kg* par mm^2, c'est-à-dire 1/15 de la charge de rupture.

Cela n'a aucune influence sur la durée du câble qui sera aussi longue que si sa tension initiale n'existait pas.

La durée du câble est évidemment une question vitale pour le système, Les frais de premier établissement ou d'amortissement sont peu élevés, mais il est évident que, si on voulait établir son système sur un canal où il ne passe qu'un bateau par mois, on ne ferait pas ses frais ; il faut un tonnage minimum pour qu'une installation de ce genre constitue une opération viable. Il estime qu'il faut un tonnage de 5 à 600 000 *t* par an pour que le système devienne rémunérateur, ce qui peut se produire sur les canaux de l'Est où le tonnage atteint 900 000 *t*. Si l'on arrivait à dépasser un million de tonnes, on diminuerait les frais de traction. Sur les canaux du Nord, où la traction s'élève à trois millions de tonnes, la traction ne coûterait presque rien.

Les frais d'entretien sont à peu près les mêmes pour un million que pour trois millions de tonnes : les frais de charbon seuls augmentent en proportion du tonnage.

M. Maurice Lévy estime qu'à partir de 5 à 600 000 *t*, on arriverait à faire ses frais, avec la possibilité de diminuer les dépenses de traction, d'autant plus que le tonnage dépasserait davantage ce minimum.

Mais il est indispensable de ne pas être obligé de renouveler constamment le câble. Cela coûte environ 5 *f* par mètre courant, en comprenant les deux rives, soit 5 000 *f* par *km*.

Si le câble ne durait que deux ans, la dépense serait fort élevée ; mais on peut, de deux manières, se rendre compte que le câble résistera pendant longtemps. D'abord, la meilleure preuve, c'est que le câble de Saint-Maur n'a pas encore bougé ; malgré ses fatigues, il n'y a pas

d'usure à la surface; les poulies sont, il est vrai, un peu usées, mais ce ne sont pas les poulies en fonte qui usent le fil en acier, c'est le fil qui use les poulies. Donc, sous ce rapport, le câble est dans d'excellentes conditions.

D'un autre côté, si on regarde ce qui se passe dans les mines, on voit qu'on renouvelle les câbles en moyenne tous les deux ans. Là, on enroule le câble comme on peut, et souvent autour de tambour de 50 à 60 *cm* de diamètre. Si ceux de Saint-Maur supportaient 26 *kg* par mm^2, ceux des mines supporteraient une tension bien plus élevée et ils s'useraient plus rapidement; de plus, ils sont constamment soumis à des à-coups au moment où on s'arrête et il y a là une force vive qui triple ou quadruple la fatigue du câble. Dans les mines, on travaille nuit et jour et on marche à une vitesse au moins décuple de la sienne; par conséquent, si les câbles des mines durent deux ans en moyenne, les siens dureront bien six à huit ans. Or, en lui supposant une durée de quatre à cinq ans seulement, le renouvellement du câble devient une fraction de dépense acceptable; c'est une dépense comparable à celle du charbon.

Sa première préoccupation a été de voir si le système fonctionnerait mécaniquement; c'est un point important qu'il fallait constater préalablement; le système a fort bien réussi et depuis il fonctionne à son entière satisfaction.

Quand on fait une expérience, tout le monde sait qu'il est bien rare qu'il n'arrive pas quelque mécompte; or, jamais sa première installation ne lui a donné la moindre inquiétude.

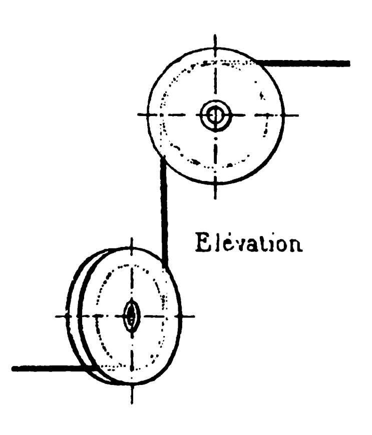
Son déclenchement n'a jamais manqué et c'est là une condition indispensable à la réussite; il faut pouvoir se détacher quand on veut. Si on se trouve dans une rivière accidentée ou qu'on passe sur un haut fond ou bien s'il y a une pierre au fond d'un canal, si le bateau ne se détachait pas automatiquement, il subirait des avaries. Or, son déclenchement fonctionne très bien; de plus, il est cylindrique et il peut passer sur toutes les poulies.

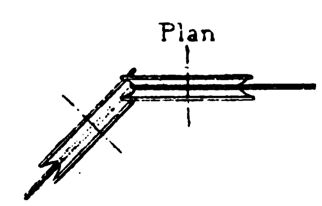
Seule l'expérience décidera si les craintes de M. Brüll sont exactes, ou si c'est l'opinion de M. Maurice Lévy qui est exacte. Il a la grande conviction que son câble sera de longue durée. Quant à la dépense d'établissement du système, elle sera d'autant plus faible qu'on pourra faire des circuits plus étendus. On peut établir des circuits de 20 *km* sur chaque rive soit en tout de 40 *km* de longueur.

Chaque machine desservant deux circuits, on pourrait distancer les machines de 40 *km*. Il vaut mieux avoir des circuits de 40 *km* avec une machine de 100 à 150 chevaux, que des circuits moins étendus avec des machines plus faibles et plus rapprochées. En effet, si l'on suppose un circuit de 5 *km*, sur un canal dont le tonnage serait d'un million de tonnes, le câble peut recevoir un demi-bateau par kilomètre, c'est-à-dire un bateau par 2 *km*; avec un circuit de 5 *km* de longueur, il y aura des moments où il n'y aura pas de bateau, et d'autres moments où il y en aura trois fois plus que le tonnage moyen; par conséquent, il faudra, en prévision de ces cas, établir des machines beaucoup plus fortes que ne l'exige le tonnage moyen; tandis que, sur une distance de 20 *km*, on peut établir une moyenne, et avoir une machine pour le tonnage moyen. Il

ne voit pas le motif qui empêcherait d'établir des circuits de 20 *km* de longueur, surtout en considérant qu'avec la grande tension qu'a le câble, tout marche très régulièrement ; les changements de flèches dus à la présence des bateaux sont insensibles.

Le passage de l'angle concave, qui existe près du souterrain de Saint-Maur constitue une difficulté tout à fait exceptionnelle qu'on a choisie à dessein pour rendre l'épreuve probante. Il n'y en a pas d'ailleurs deux pareils en France. Même pour les bateaux traînés par des chevaux, le passage est fort difficile. Dans les courbes ordinaires ou en ligne droite, on n'éprouvera pas de semblables inconvénients.





M. Maurice Lévy a imaginé pour le passage des angles concaves une disposition qui lui paraît préférable à celle qui est établie à Saint-Maur; il fera usage désormais de deux poulies verticales. Il donne quelques indications sur cette nouvelle disposition, qui ne fait pas subir de torsion, au câble mais seulement deux flexions suivant deux axes perpendiculaires, qui le fatiguent beaucoup moins. Cette disposition peut aussi se faire avec des poulies inclinées à volonté ; elle est très élastique et très commode.

Avec cette nouvelle disposition on pourra passer les angles droits avec la plus grande facilité ; il ne sera plus nécessaire de faire la manœuvre à bras d'hommes ou au moyen du treuil. Du reste, le treuil n'est pas actuellement indispensable ; on pourrait s'en passer et bien des manœuvres ont été faites sans s'en servir. S'il l'a imposé, ce n'est pas pour démarrer, mais pour avoir un moyen rapide et facile de rattraper la corde en route lorsqu'on l'a laissée filer.

M. Maurice Lévy ajoute en terminant qu'il n'a pas encore des données absolument sûres en ce qui concerne le prix de revient, mais qu'il ne croit pas s'éloigner de la réalité en disant que l'application de son système reviendra à 15 *f* par mètre courant de canal, y compris chaudière, machine et tous accessoires ; il ne pense pas qu'on puisse arriver à une dépense moindre pour le double circuit, soit 15 000 *f* par kilomètre, en mettant les supports à 60 *m* de distance, car, pour une marche continuelle, il vaut mieux ne pas exagérer les portées. Dans ces circonstances et en comptant une machine à vapeur pour un million de tonnes, il considère que la dépense est d'environ 15 000 *f* par *km* pour les frais d'installation.

En y ajoutant le charbon, le renouvellement du câble remplacé tous les dix ans, il estime que, pour faire ses frais, il faut une recette de 3 000 *f* par kilomètre. Si le tonnage est de un million de tonnes, le

fret revient à 0,003 *f* si on a trois millions de tonnes, le fret s'abaisse à 0,001 *f* ou 0 0012 *f*.

Tels sont les renseignements qu'il peut donner sans exagération. *(Applaudissements.)*

M. A. Brüll remercie M. Maurice Lévy d'avoir bien voulu rectifier quelques-uns des chiffres qu'il avait recueillis à la hâte et, en particulier, celui qui est relatif à la grosseur des fils. On lui avait dit qu'ils étaient du numéro 15 de la jauge de Paris : il prend note qu'ils n'ont que 2 *mm* de diamètre : auquel cas les 26 *kg* doivent être réduits à 20 *kg*.

Il est d'accord avec M. Maurice Lévy sur un certain nombre de points et particulièrement sur la valeur du moyen nouveau qu'il propose pour franchir les courbes, à l'aide de deux poulies verticales.

Il est aussi d'accord avec l'auteur de ce remarquable travail sur l'importance qu'il y a à fixer un chiffre relativement élevé pour la tension qu'on donne au câble; c'est la principale sauvegarde, contre les troubles qui ont été si bien décrits. Si on veut accrocher un, deux, trois bateaux, on peut apporter une augmentation de plus de 1 000 *kg* dans l'effort de traction; si on n'avait pas une réserve de plusieurs milliers de kilogrammes de tension, on courrait risque de ne pouvoir marcher.

Le système de M. Maurice Lévy fonctionne très bien, et les autres systèmes essayés n'ont pas donné d'aussi bons résultats.

En ce qui concerne la surtension, il y avait aussi un désaccord entre les chiffres. M. Pavie a indiqué le poids de 7 000 *kg* ; 3 500 *kg* par brin, cela ferait pour 316 mm^2, 11 *kg* par mm^2, section résistante du métal. Mais, M. Maurice Lévy vient de dire qu'il s'arrêtera au chiffre de 10 *kg*.

Reste à savoir si le câble résistera plusieurs années dans ces conditions, avec la nécessité pour des fils de 2 *mm* de diamètre de franchir des poulies de 2 *m* de diamètre. Sur ce point, il ne peut pas se rendre encore aux espérances de M. Maurice Lévy, qui a dit que le fil de 2 *mm*. de diamètre pouvait s'enrouler autour du doigt et former un ressort. Cela est exact, mais à condition que le fil se déforme d'une façon permanente. Là, il y a un fil qui s'enroulera autour d'un cylindre pendant plusieurs années de suite ; il faut qu'il ne se déforme pas. Jusqu'à l'établissement de meilleures formules, M. Brüll pense que, pour enrouler un fil de 2 *mm*. de diamètre autour de la moitié de la circonférence d'un tambour de 2 *m*, il faut que la fibre extérieure des fils s'allonge d'au moins 0,001 *m*. Il pense aussi que, pour augmenter de 0,001 la longueur d'une tige d'acier, il faut un effort de 20 *kg* par millimètre carré de section et, par conséquent certaines fibres supportent cet effort. Or, ces 20 *kg*, ajoutés aux 10 *kg* indiqués précédemment font 30 *kg*, et l'on n'a pas encore entraîné le bateau.

On pense pouvoir atteler 16 bateaux, exigeant chacun 300, 400 ou 500 *kg* de traction. Ces calculs sont exacts pour des passages faciles; mais si on a des hauts fonds, des écluses à traverser, on verra, sur chacun de ces bateaux, bien des centaines de kilogrammes s'ajouter à ceux qui sont donnés par le calcul. En prenant cependant 7 000 *kg* sur 316 mm^2 de section, cela fait 22 *kg* par millimètre carré, et l'on a $30 + 22 = 52$. Ce n'est donc plus 59, mais 52 *kg* que les fibres les plus fatiguées auront à supporter sans déformation permanente.

Et, dans ce calcul, il n'est pas tenu compte de l'effort qu'il faudra produire pour l'enroulement du câble autour des poulies, ni de l'effort que ce câble devra développer pour faire tourner ces nombreuses poulies. On parle de machines de 150 chevaux pour un travail utile qui n'est que de 80. — Il faut une machine de 8 à 10 chevaux pour exercer un travail utile de moins de 340 *kgm*; il faut donc dépenser 100 unités de force pour en imprimer 60 ou bateau; mais, le câble doit porter les 100, et dans le calcul ne figurent que les 60; de sorte que le reste, employé à vaincre la raideur du cordage, les frottements des axes des poulies sur les supports s'ajoute à la tension du câble. Le chiffre de 50 *kg* par millimètre carré de section serait donc un minimum.

M. Maurice Lévy a répondu en invoquant l'expérience des mines, où les câbles seraient fort maltraités et ont néanmoins une longue durée. On y fait usage de poulies de 5 à 10 *m* de diamètre et on se garde bien d'enrouler les câbles autour de petites circonférences; on prend des fils aussi fins que possible et de bonne fabrication.

M. A. Brüll croit qu'avec des poulies de 2 *m* de diamètre et un fil de 2 *mm* le câble ne sera pas dans de bonnes conditions pour résister pendant longtemps.

Il estime que pour essayer de résoudre ce problème si important de l'augmentation du tonnage sur nos canaux, il sera bon de diminuer le diamètre du fil composant le câble et d'augmenter notablement celui des poulies. *(Applaudissements.)*

M. Delfosse dit que quand M. Brüll parle d'un câble qui s'enroule autour d'une poulie, il est évident qu'extérieurement il y aura allongement, mais intérieurement il y aura un raccourcissement; or le fil de fer est en spirale autour du câble, et la situation n'est pas la même que si tous les fils étaient dans le sens de la longueur. La fatigue d'un câble dont les fils sont parallèles est différente de celle d'un câble dont les fils sont en hélice.

M. A. Brüll répond qu'il y a soixante fils dans le câble, qu'il faut que chacun d'eux s'enroule de la même manière.

La formule qu'il a employée est la plus favorable, quelle que soit l'hypothèse.

M. Delfosse croit que si l'on considère le fil enroulé en hélice le résultat sera différent de celui qu'indique M. Brüll, il y aura une espèce de déplacement de l'hélice.

M. Brüll dit que dans ce cas le résultat serait encore plus désavantageux.

M. Contamin demande à défendre la formule de l'enroulement des câbles : $R = E\frac{d}{D}$, dont il ne voit aucune raison de suspecter l'exactitude, à la condition toutefois de l'appliquer sans faire naitre de déformation permanente et en ne mettant en jeu qu'une partie des propriétés résistantes de la matière. Il croit que la règle pratique de prendre $d = \frac{D}{2\,000}$ donne à cet égard toute satisfaction.

La tension due à l'enroulement s'ajoutant à celles résultant du travail demandé au câble peut produire, aux points où ces efforts se cumulent, des tensions semblant exagérés, mais à son avis elles ne doivent pas

effrayer du moment que la somme de tous les efforts reste sensiblement inférieure à la limite d'élasticité.

Les études qu'il a faites sur la résistance des rails sous l'action de charges en mouvement, lorsqu'il a eu à déterminer les conditions d'établissement du rail de 43 *kg* de la Compagnie du Nord, lui ont démontré, en effet, qu'en certains points le rail pouvait être exposé par moments à subir des efforts d'extension et de compression dépassant très sensiblement les charges de sécurité auxquelles on est habitué, sans que la sécurité de la voie en souffre.

Les expériences faites au Conservatoire par M. Tresca pour rechercher les variations que le coefficient d'élasticité subit après des déformations permanentes ont d'ailleurs démontré qu'elles sont faibles toutes les fois qu'une déformation permanente en sens opposé a donné à la pièce son profil primitif.

M. le Président fait part d'une observation au sujet de la durée des câbles. Sur les bords du lac de Genève, le chemin de fer d'Ouchy a Lausanne à traction par câble, a une vitesse qui n'est que de 1 *m* par seconde, et au démarrage on fait en sorte de ne pas avoir un effort trop considérable. Les câbles établis, avec le plus grand soin, sont actionnés au moyen de turbines et s'enroulent sur des tambours de 3*m* de diamètre au moins. Malgré cela et quoique l'effort de traction ne soit jamais supérieur à 10 *kg* par mm^2, le câble arrive rarement à atteindre une durée de deux ans et il ne la dépasse qu'exceptionnellement. Le plus souvent cette durée est d'environ une année et demie. Au bout même d'un temps assez court, on commence à apercevoir la fatigue des câbles par la rupture des fils. Aussi font-ils l'objet d'une surveillance constante.

Les craintes relatives à la durée des câbles dans le système de M. Maurice Lévy ne sont donc pas dénuées de fondement.

M. Maurice Lévy pense que le chiffre de 59*kg*, indiqué par M. Brüll, ne doit pas être la réalité, puisque le câble qui fonctionne actuellement n'aurait pas résisté longtemps à cet effort ; mais il faut observer que le chiffre de M. Brüll s'applique à l'exploitation en pleine marche, tel que M. Maurice Lévy veut le réaliser, et non à l'expérience actuelle dans laquelle l'effort de traction étant insignifiant, le coefficient de travail ne dépasse pas 30 *kg*.

M. Brüll dit qu'il avait, en effet, oublié de répondre sur ce point.

M. le Président demande si quelqu'un a encore à présenter des observations.

Puisque personne ne demande la parole, il nous reste, dit-il, à remercier M. Maurice Lévy d'avoir bien voulu assister à notre séance, et nous donner des explications fort intéressantes, que nous avons tous écoutées avec la plus grande attention, parce que nous savons qu'elles émanent non seulement d'un grand mathématicien, mais encore d'un ingénieur très expérimenté qui, dans l'étude de ce difficile problème, a déjà résolu de nombreuses difficultés pratiques.

Nous faisons les vœux les plus sincères pour que l'expérience qu'il va entreprendre réussisse de la façon la plus complète, et que ce soit à la France qu'on doive l'honneur d'avoir résolu cette grande question de la traction mécanique sur les canaux. (*Vifs applaudissements.*)

L'heure étant trop avancée pour une autre communication.

La séance est levée à dix heures et demie.

NOTE

SUR LES

MINES DE FER ET LES USINES MÉTALLURGIQUES DE MEURTHE-ET-MOSELLE

PAR

H. RÉMAURY

PRÉAMBULE

J'apporte à la Société le tribut réclamé à ses membres sous forme de communications ; le choix de mon sujet m'est imposé par ma carrière de mineur et de forgeron, qui a trouvé sa principale application dans les mines de fer et dans les hauts fourneaux et forges de Lorraine.

Je voudrais vous présenter sommairement les ressources minérales sidérurgiques de Meurthe-et-Moselle, puis leur emploi dans une série de notes, allant d'abord du minerai de fer au haut fourneau, puis à la fabrication de la fonte et, enfin, à sa transformation en produits finis, moulages, fers et aciers.

N'est-ce pas une ambition démesurée, quand il faut la concilier avec les occupations journalières, les voyages et l'imprévu? Si je n'arrive pas au bout de ce programme, je tiens à faire acte de bonne volonté en me le traçant comme objectif et en commençant par le résumé de ma dernière étude dans le canton de Longwy, à la pointe extrême du département; c'est là que, de la fin de 1880 au milieu de l'année 1884, j'ai eu à remanier, pour la Compagnie anonyme de Châtillon et Commentry, les anciennes usines à fonte de Villerupt et à préparer l'exploitation des concessions attribuées à ces usines. — La direction de ces travaux, préparés d'abord à Paris, puis contrôlés fréquemment sur place, pendant leur exécution, m'a permis d'apprécier l'importance du nouveau groupe minier et métallurgique de l'embranchement de Longwy à Villerupt.

Nota. — L'auteur a mis à profit les renseignements recueillis depuis la date de sa première communication, qui se trouve ainsi plus complète.

PREMIÈRE PARTIE

Ressources minérales sidérurgiques de Meurthe-et-Moselle.

I. Aperçu géographique.

Le canton de Longwy dépend de l'arrondissement de Briey, dernier débris de l'ancien département de la Moselle, rattaché à ce qui restait du département de la Meurthe, après l'amputation des arrondissements de Château-Salins et de Sarrebourg. C'est ainsi qu'a été formé en 1871, après l'annexion, le département de Meurthe-et-Moselle qui doit son nom à ses deux principaux cours d'eau: la Moselle et la Meurthe.

La Moselle, née dans les Vosges à l'altitude de 725 *m*, à peu de distance du col de Bussang et du Ballon d'Alsace, entre dans le département à l'altitude de 262 *m*, le traverse dans sa moyenne largeur du sud au nord, sur une étendue de 120 *km* et en sort à l'altitude de 173 *m*.

La Meurthe, la seconde rivière en importance du département, arrose le sud-est sur une étendue de 76 *km* et se jette dans la Moselle au lieu dit la *Gueule-d'Enfer*, près de Frouard.

La largeur des deux rivières réunies est de 120 *m* à Custines, village situé sur la rive droite, en face des forges de Pompey, qui sont établies entre la Moselle canalisée et le chemin de fer de Nancy à Metz.

La superficie du département contient 523 234 *ha* soit $\frac{1}{100}$ du territoire de la France qui est de 528 000 *km*. Par son étendue il serait le 69e, mais par son extraction de minerais de fer il occupe le premier rang, comme le démontre la statistique de la production minèrale.

Le relief du sol accuse un vaste plateau accidenté de collines, de ravins et de vallons. On l'appelle plaine de Lorraine, malgré ses mouvements souvent brusques et ses altitudes variables de 200 à 400 *m*, avec points singuliers jusqu'à 700 *m*.

Ce plateau, vu du haut de la chaine des Vosges, apparaitrait comme formé de sections parallèles, disposées en gradins avec des pentes faibles à l'ouest se relevant à l'est pour former des collines à bords escarpés, qui sont nos premières lignes de défense en cas d'invasion.

La principale vallée est celle de la Moselle qui offre des aspects

différents suivant que la rivière est étalée ou encaissée; on y rencontre des sites très pittoresques comme à Liverdun ; le haut des collines est boisé, les bois cessent à l'intersection des calcaires et des marnes, où les cultures commencent et se développent en champs divers, qui donnent les riches produits des vignobles, vergers et prairies en suivant la pente de la vallée jusqu'au bord de l'eau ; de nombreux villages, alimentés par d'abondantes sources, abritent une population assez dense qui se livre à la culture, élève des bestiaux et fournit des ouvriers assez stables aux carrières, mines et usines du département.

Le plateau de Briey est la suite du plateau de Lorraine, il s'exhausse vers le nord-est; l'altitude atteint 443 *m* à Tiercelet où se trouve la ligne de faîte qui partage les eaux des bassins de la Meuse et de la Moselle. Non loin de Tiercelet, à Thil, naît l'Alzette qui baigne Villerupt et Micheville avant de passer à Esch dans le Luxembourg et de rejoindre plus loin la Sure, affluent de la Moselle, tandis que dans le nord-ouest du plateau coule à Longwy-Bas la Chiers qui, sortie du grand duché de Luxembourg, passe à Mont-Saint-Martin, Longwy, Rehon et Longuyon, où elle reçoit la Crusne, avant de devenir tributaire de la Meuse.

La carte dressée par le colonel Périer, chef du service géographique, à l'échelle de $\frac{1}{50\,000}$, gravée sur zinc et coloriée, est d'une lecture très facile, avec ses courbes équidistantes de dix mètres, et recommandée à ceux qui désirent entrer dans plus de détails; quant à l'ensemble, il se trouve sur les feuilles de la carte à $\frac{1}{200\,000}$, œuvre du même service, qui prépare, pour la fin de 1889, la réduction des minutes de la carte d'État-Major à $\frac{1}{80\,000}$ (1).

II. — Aperçu géologique.

La constitution géologique du sol du département est uniquement composée de terrains stratifiés, qui se recouvrent dans un ordre constant et plongent vers le bassin de Paris de deux à trois centimètres par mètre (fig. 1).

Les diverses formations viennent affleurer à la surface du sol

(1) M. Rémaury a remis aux archives de la Société les feuilles de ces cartes relatives au département de Meurthe-et-Moselle, exécutées en 1885 sous la haute direction du colonel Périer, membre de l'Institut, mort général en *1888*, dans toute la force de l'âge et du talent.

dans l'ordre de superposition, si on se dirige vers la frontière ; leur épaisseur n'a pas été évaluée à moins de 1 200 *m;* le calcaire, l'argile et le sable en forment les éléments principaux qui, mélangés en proportions variables, donnent lieu à autant de variétés de

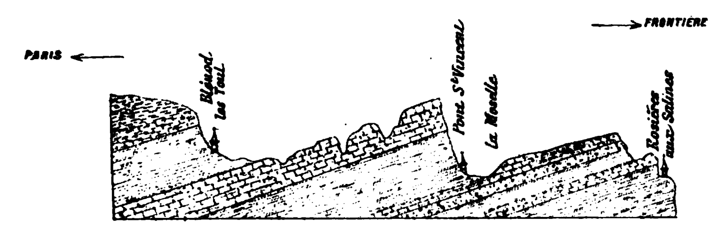


Fig. 1. — L'inclinaison est exagérée comme la hauteur.

roches plus ou moins colorées par l'oxyde de fer qui devient parfois assez important pour passer à l'état de minerai exploitable.

Les cartes géologiques, à l'échelle de $\frac{1}{80\,000}$, des départements de la Meurthe et de la Moselle, avaient été dressées en 1855 et 1865 par MM. Levallois et Reverchon, Ingénieurs en chef des Mines.

De son côté, M. Jacquot, Ingénieur en chef des Mines, publiait, en 1868, la description géologique et minéralogique de la Moselle, avec la collaboration de M. Barré, Ingénieur des Mines, et de M. O. Terquem, membre de l'Académie des Sciences de Metz ; M. Barré, aidé de M. Dargnies, Ingénieur des Manufactures de l'État, avait étudié spécialement l'arrondissement de Briey et observé les grandes lignes de facture, complétées plus tard par M. Braconnier (1), qui en a reconnu la multiplicité et la coordination suivant deux directions presque rectangulaires; reportées sur la carte géologique qu'il a dressée à son tour à l'échelle de $\frac{1}{160\,000}$ dans un but de vulgarisation; après avoir établi une première carte sur les feuilles assemblées de l'État-Major à l'échelle de $\frac{1}{80\,000}$, il a fait la réduction à $\frac{1}{160\,000}$ pour arriver à la reproduction par les procédés exacts et économiques de la photogravure.

Pendant ce temps, la carte géologique détaillée de la France continue à s'exécuter à $\frac{1}{80\,000}$ et on peut se la procurer.

(1) A. Braconnier, description des terrains de Meurthe-et-Moselle, 1879.

Tels sont les documents qu'il importait d'indiquer aux amateurs d'études plus complètes.

Dans l'échelle de la série sédimentaire du groupe des terrains secondaires, l'étage vosgien sert de base au système triasique qui lui-même est séparé par l'ensemble liasique du système dit oolithique, comprenant six étages d'après le tableau ci-joint :

Divisions des Terrains sédimentaires.

GROUPES	SYSTÈMES		ÉTAGES
Quaternaire			Alluvien. Diluvien
Tertiaire	PLIOCÈNE		Subapennin.
	MIOCÈNE		Falunien. Tongrien.
	ÉOCÈNE		Parisien. Suessonien.
Secondaire	CRÉTACÉ	Supérieur	Danien. Sénonien. Turonien Cénomanien.
		Inférieur	Albien. Aptien. Néocomien.
	OOLITHIQUE (1)	Supérieur	Portlandien. Kimmeridgien.
		Moyen	Corallien. Oxfordien.
		Inférieur	Bathonien. Bajocien.
	LIASIQUE		Toarcien. Liasien. Sinémurien. Hettangien. Rhétien.
	TRIASIQUE		Saliférien. Conchylien. Vosgien.
Primaire	CARBONIFÈRE		Permien. Houiller. Anthracifère.

(1) Le nom de terrain oolithique provient de : ὠὸν, *œuf;* λιθος, *pierre,* parce que leur texture granuleuse les fait ressembler à des œufs de poisson pétrifiés.

Nivoit. — *Géologie appliquée.* — Baudry et Ce.

Description du gisement.

Le gisement de minerai de fer oolithique est situé au contact des marnes argileuses liasiques et des bancs calcaires de l'oolithe inférieure; c'est le plus important de tous les gîtes métalliques de la France et il a fait l'objet de nombreuses publications, déjà citées.

Les Ingénieurs du corps des mines, qui ont été successivement attachés à la région, ont tous apporté un contingent précieux à son étude et à la réunion des documents pouvant guider les industriels dans la recherche et le bon aménagement des couches exploitables.

Le minerai de fer oolithique est un oxyde de fer hydraté, à gangue argileuse, ou calcaire, dont le dépôt, au début de l'âge jurassique, sur une largeur moyenne de 20 *k* et une longueur de plus de 100 *k*, s'explique par la formation d'une bande le long des rivages vaseux d'une mer peu profonde.

L'oxyde de fer provient de l'apport de carbonate de fer par des sources qui le tenaient en dissolution grâce à un excès d'acide carbonique, dont le départ provoquait la précipitation; puis le carbonate de fer a été transformé en hydroxyde de fer; les circonstances variables de ces actions successives expliquent la variation correspondante de richesse et des gangues du minerai, souvent dans une même couche et dans des points assez rapprochés.

Considéré en morceaux, le minerai se présente comme une agglomération de petits grains ferrugineux, gros comme des têtes d'épingle, réunis par un ciment argilo-siliceux ou argilo-calcaire, le tout diversement coloré en gris, brun, rouge, jaune et même vert exceptionnellement.

Les grains, ou oolithes, forment la partie riche; leur forme est sphéroïdale; le diamètre varie d'un à quelques millimètres, en prenant un aspect d'autant plus irrégulier que le ciment est plus calcaire.

Suivant que le sable, l'argile ou le calcaire dominent dans le ciment, qui est d'ailleurs ferrugineux, les minerais sont siliceux, argileux ou calcaires. Les premiers sont friables, les seconds peuvent se déliter à l'air, les derniers sont les plus stables et donnent peu de menu.

Ce caractère physique est très important pour l'extraction, puis pour les manutentions, la conservation et l'emploi au fourneau;

combiné avec la teneur en fer et la nature de la gangue, il est un élément essentiel de l'estimation de la valeur marchande.

Le minerai le plus recherché est celui dont la teneur moyenne, comprise entre 34 et 36 0/0 de fer, apporte avec lui une gangue fusible sans addition de matières qui nécessitent une quantité supplémentaire de combustible pour la fusion.

Les concessions les plus favorisées se rapprochent de ces conditions.

Au-dessous de 30 0/0, les minerais calcaires sont extraits comme castine et peuvent intervenir dans le lit de fusion jusqu'à une teneur de 20 0/0 ; les autres variétés sont négligées ou d'un traitement peu avantageux.

Comme substance étrangère, longtemps nuisible, le phosphore existe dans tous ces minerais à l'état de phosphate et en proportion importante de 0,2 jusqu'à 1 0/0; heureusement le soufre, encore plus nuisible, n'atteint que quelques dix millièmes; il est à l'état de pyrite souvent visible ou de sulfate de chaux.

Quant on s'enfonce en profondeur; la gangue argileuse devient marneuse et le minerai s'appauvrit; dans d'autres cas, si le ciment est calcaire, le minerai voisin de la surface peut être de l'hydroxyde de fer, la masse étant cependant du fer carbonaté, quand on s'éloigne des affleurements.

Position et groupement des couches. — Les diverses couches affleurent sur les versants des collines et, quand elles ne sont pas masquées par des roches d'éboulement, elles se présentent à l'intersection des calcaires de l'oolithe inférieure et des marnes liasiques, dont la pente adoucie tranche avec la pente raide des roches plus dures.

Le niveau de la formation ferrugineuse, visible ou non extérieurement, devait être l'objet de fréquentes constatations par la recherche des sources qui ont leur nappe d'alimentation immédiatement au-dessous des couches de minerai.

M. Braconnier cite à cet égard les recherches d'eaux entreprises aux environs de Nancy, à Laxou et à Boudonville, qui avaient mis en évidence, dix ans avant leur concession, des couches exploitables de minerais de fer.

Il faut remonter à 1835 pour trouver en Meurthe-et-Moselle les premiers travaux modernes dans les éboulis et les affleurements du gite près de Chavigny, où fut construit en 1837 un petit fourneau au charbon de bois.

Les grandes concessions de Moyeuvre et d'Hayange dans l'ancien département de la Moselle, aujourd'hui Lorraine annexée, datent de l'année 1834.

Cinquante ans plus tard, dans l'année 1884, malgré les pertes cruelles de l'annexion, le département de Meurthe-et-Moselle atteignait comme chiffre d'extraction de ses mines et minières de fer 1 980 000 *t* de minerai, c'est-à-dire les deux tiers de la production de la France; et les nombreux hauts fourneaux, élevés avant et après l'annexion autour de Nancy et de Longwy et en dernier lieu sur l'embranchement de Longwy à Villerupt, enfin à Jœuf près Briey, fondaient la plus grande partie de ce minerai, en produisant, également en 1884, le chiffre énorme de 747 300 *t* de fonte, sur 1 855 000 *t*, production totale de la France.

Statistique des concessions et de l'extraction des mines et minières de fer de Meurthe-et-Moselle en 1887.

Trois groupes principaux concourent à cette énorme exploitation; ils s'étendent autour de Nancy, de Briey et de Longwy et comprennent, outre les minières exploitées à ciel ouvert, 88 concessions dont deux instituées depuis le 1er juillet 1887.

Groupe de Nancy. — Les deux tableaux ci-dessous donnent les concessions du groupe de Nancy, au nombre de 47, dont 14 ont été exploitées en 1887 et 33 sont restées inexploitées.

Groupe de Nancy. — Tableau A.

CONCESSIONS EXPLOITÉES	DATE D'INSTITUTION	SUPERFICIE HECTARES		PROPRIÉTAIRE OU EXPLOITANT	EXTRACTION DE 1887
		CONCÉDÉS	EXPLOITABLES		
Chavigny	1856	372	267	Société du Nord et de l'Est	206 708 t
Marbache	1858	588	480	— des Fonderies de Pont-à-Mousson	87 100
Frouard	1858	741	510	— de Montataire	5 647
Bouxières-aux-Dames	1859	322	165	— —	59 940
Avant-Garde	1863	277	200	— de Vezin-Aulnoye	40 833
Boudonville	1864	430	296	— —	43 634
Maxéville	1864	295	230	— des Mines de Luxembourg et des Forges de Sarrebruck	20 612
Croisette-Liverdun	1866	372	320	Société métallurgique de Champigneulles et Neuves-Maisons	5 851
Laxou	1867	266	253	De Dietrich et Cᵉ	6 187
La Grande-Goutte	1869	339	227	Bradfer	7 255
La Fontaine des Roches	1870	186	72	Simon Lemut et Cᵉ	117 067
Ludres	1873	416	177	Dupont et Fould	90 863
Le Val-de-Fer	1874	396	250	Société métallurgique de Champigneulles et Neuves-Maisons	179 309
Chaligny-Ouest	1874-75	206	151	Société du Val-d'Osne	244
				TOTAL	871 250 t

L'auteur du mémoire, ayant pu se procurer le dernier rapport des Ingénieurs des Mines du département, a cru devoir substituer la statistique détaillée de 1887 à celle de 1884, qu'il avait présentée en 1885.

L'extraction du groupe de Nancy est supérieure de 77 869 *t* à celle de 1886; cet accroissement provient de l'extension des exportations de minerais hors du département, qui ont passé de :

130 700 *t* en 1886,

à 236250 *t* en 1887.

La différence, qui est de 635 000 *t*, a été consommée dans les usines du groupe.

Trente-trois concessions sont restées inexploitées en 1887, soit à cause de la qualité médiocre du minerai, du manque de débouchés ou de l'absence de voies économiques de transport, soit simplement parce qu'elles sont réservées pour l'avenir par leurs propriétaires qui exploitent d'autres mines plus avantageuses.

En voici le tableau :

Groupe de Nancy. — Tableau B.

CONCESSIONS NON EXPLOITÉES EN 1887	DATE D'INSTITUTION	SUPERFICIE HECTARES CONCÉDÉS	SUPERFICIE HECTARES EXPLOITABLES	PROPRIÉTAIRE OU EXPLOITANT
Champigneulles	1848	427	132	Karcher et Ce.
La Voiletriche	1859	341	327	Dupont el Fould. — (Achat).
Liverdun	1860	421	400	Puricelli frères.
Hazotte	1861	414	300	Vivenot et fils
Pompey	1861	127	93	Société de Montataire.
Buthégnemont	1864	305	115	— de Maubeuge.
Vandœuvre	1867	176	155	Adrien.
Houdemont	1867	241	183	Société du Nord et de l'Est.
Custines	1867	201	108	Haldy et Ce (Pont-à-Mousson).
Lay-Saint-Cristophe	1867	200	92	Durenne,
Sainte-Geneviève	1868	195	105	Dupont et Fould.
Fond-de-Monveaux	1869	286	266	Société de la Haute-Moselle.
Bois-du-Four	1869	233	153	Jamin et Ce.
Le Montet	1869	366	285	Stumm et Ce.
Saint Jean	1872	150	95	Société des Transports de Saint-Dizier.
Malzéville	1872	282	147	Colas.
Le Bois de Flavémont	1874	206	150	Festugières.
Val Fleurion	1874	426	250	Société de la Haute-Moselle.
Haute-Lay	1874	152	125	— des Forges de Champagne
Eulmont	1874	235	145	Grosdidier.
Maron-Nord	1874	246	217	Société de la Haute-Moselle.
Blanzey	1874	345	172	Guyot et de Beurges.
Sexey-aux-Forges	1875	268	160	Société des Forges de Champigneulles.
Sainte-Barbe	1875	201	99	— — —
Bellefontaine	1875	532	450	— de la Bellefontaine,
Lavaux	1880	370	330	— du Nord et de l'Est.
Haye	1882	393	280	— de la Lorraine Industrielle.
Marie-Chanois	1882	212	150	— — —
Millery	1882	219	105	— — —
Chavenois	1883	450	»	— de Montataire.

Recherches et demandes en concession. — Deux puits de recherches ont été terminés en 1887 sur le territoire de Custines; ils ont donné de bons résultats et appuyé une demande en concession déposée le 27 mai 1887 par la Société des Hauts Fourneaux et Fonderies de Pont-à-Mousson.

Groupe de Longwy. — Sur les 26 concessions du groupe de de Longwy, 13 ont été exploitées en 1887 et ont produit un total de 806 088 *t*, ainsi réparti :

CONCESSIONS EXPLOITÉES	DATE D'INSTITUTION	SUPERFICIE HECTARES		PROPRIÉTAIRE OU EXPLOITANT	EXTRACTION DE 1887
		CONCÉDÉS	EXPLOITABLES		
Senelle	1864	208	176	Boutmy et Cie	10 525
Mont Saint-Martin	1864	626	460	Labbé et d'Adelswärt	18 968
Mexy	1866	230	198	Giraud et Cie	90 165
Saulnes	1867	90	80	Berger et Cie	149 960
Lexy	1867	469	377	Société de la Providence	14 144
Moulaine	1868	371	313	— Industrielle de Luxembourg	35 433
Le Mont-de-Chat	1868	195	105	Mineur	24 550
Herserange	1870	433	272	Marquis d'Adelswärt	79 338
Villerupt	1873	326	180	Société de Villerupt et Sainte-Claire	22 049
Longlaville	1873	261	248	Gustave Raty et Cie	86 662
Micheville	1874	340	205	J. Ferry et Cie	76 078
Hussigny	1875	206	136	Labbé et Société de la Providence	183 936
Godbrange	1878	952	908	Denain et Anzin, Hauts-Fourneaux de Maubeuge, d'Adelswärt, Giraud et Cie, Raty et Cie	13 880
					806 088

Cette extraction est supérieure de 121 616 *t* à celle de 1886 qui a été un minimum.

Les 13 concessions, restées inexploitées pour les mêmes raisons que dans le groupe de Nancy, sont les suivantes :

Groupe de Longwy. — Tableau D.

CONCESSIONS NON EXPLOITÉES EN 1887	DATE D'INSTITUTION	SUPERFICIE HECTARES		PROPRIÉTAIRE OU EXPLOITANT
		CONCÉDÉS	EXPLOITABLES	
Le Coulmy	1844	62	47	Les Héritiers Gérard.
Le Châtelet	1844	6	4	Boutmy et Cᵉ.
Romain	1848	140	110	M. Labbé.
Warnimont	1857	114	98	Marquis de Ludres.
Pulventeux	1867	216	205	Marquis de Lambertye.
Réhon.	1869	348	298	Société de Maubeuge.
Cantebonne	1875	10	6	— d'Audun-le-Tiche.
Cosnes	1882	65	»	— de la Lorraine Industrielle.
Fillières-la-Grange	1882	90	»	— — —
Serrouville	1884	»	»	— des Forges de Brevilly.
Tiercelet	1886	669	»	Syndicat { Société de Maubeuge. Lorraine Industrielle. de la Providence. de la Chiers. Mines de Meurthe-et-Moselle et Usines de Villerupt. }
Brehain.	1886	373	»	Ferry, Curicque et Cᵉ.
Crusnes.	1886	475	»	Compagnie anonyme de Châtillon et Commentry.

Minières.

Le groupe de Longwy est aussi celui des minières ou exploitations à ciel ouvert; quinze minières ont été exploitées en 1887 sur les affleurements des couches de minerai, dans les communes de Villerupt, Saulnes, Hussigny, Herserange et Haucourt, et ont produit 275 952 *t*, dépassant de 39 894 *t* la production de 1886.

Les productions réunies des mines des deux groupes et des minières a atteint 1 953 290 *t*, soit 239 428 *t* ou 14 0/0 de plus qu'en 1886.

Groupe de Briey. — Ce groupe doit être considéré comme la réserve de l'avenir, mais le gisement y est assez profond. Avant son entrée aux forges de Pompey, M. Genreau, ingénieur en chef des Mines du département, s'était attaché à la reconnaissance complète du prolongement des couches en profondeur. Les premiers sondages ayant permis de constater une richesse inespérée et continue, une véritable fièvre de recherches avait gagné les industriels intéressés à se créer de nouvelles ressources ou à ne pas les laisser attribuer à des concurrents.

L'exemple de ce qui venait de se passer en pays voisin ne devait pas être perdu; en effet, avant l'année 1870, il n'avait été accordé, sous le régime français, dans la Lorraine annexée, que 13 concessions mesurant seulement 8 538 *ha*, et, dix ans après l'annexion, l'Allemagne avait distribué 40 995 *ha* en concessions plus ou moins sérieuses de 200 *ha* chacune, pouvant d'ailleurs être réunies dans les mêmes mains, si bien qu'à ce jour il ne reste plus un mètre carré à concéder au delà de la frontière.

Il était prudent d'agir de même pour le noyau resté au pays, d'encourager les sondages profonds et de récompenser les travaux heureux par des concessions dont l'urgence, sans être apparente, répondait à une mesure de sécurité; telle est l'origine des 16 concessions du groupe de Briey, dont deux ont été instituées depuis le 1er juillet 1887. — Savoir :

15. Concession de Droitaumont accordée à MM. Schneider et Cie par décret du 5 août 1887.

16. Concession de Conflans, accordée à MM. Viellard-Migeon et Cie par décret du 12 décembre 1887.

Les 14 concessions précédentes sont :

1. Jœuf à MM. de Wendel et Cie.
2. Le Bois-d'Avril à MM. Jahiet, Gorand, Lamotte et Cie.

3. Homécourt à la Société de Vezin-Aulnoye.
4. Auboué à la Société des Fonderies de Pont-à-Mousson.
5. Moutiers à la Société Métallurgique de Gorey.
6. Valleroy à la Société des Aciéries de Longwy.
7. Moineville à MM. de Saintignon et Cie.
8. Giraumont à la Compagnie anonyme des Forges de Châtillon et Commentry.
9. Jarny à la Société des Hauts Fourneaux de Maubeuge.
10. Fleury à M. Fould-Dupont.
11. Jouaville à MM. Raty et Cie.
12. Briey à MM. Schneider et Cie.
13. Batilly à la Société de Champigneulles et Neuves-Maisons.
14. Labry » » » » »

Une demande de concession présentée le 15 décembre 1887 par la Société des Forges de la Providence est en instruction.

CARACTÈRES DU GISEMENT ET DE L'EXPLOITATION DANS CHAQUE GROUPE

A. *Groupe de Nancy.* — M. Cousin, ingénieur des Mines à Nancy, a présenté au Congrès de l'industrie minérale de 1887 une note, insérée dans le bulletin, sur la formation ferrugineuse de ce groupe, qu'il caractérise ainsi :

« Sa puissance varie entre cinq et dix mètres ; à la base se trouve » un banc gréseux qui la sépare des argiles marneuses liasiques et » au toit une assise de 1 à 5 *m* de marne micacée, couronnée par » les calcaires de l'oolithe inférieure.

» La superficie des 47 concessions dans ce groupe est de 15575 *ha* » pour 10 550 *ha* de terrain minier ; elles offrent un ensemble » presque continu entre Pont Saint-Vincent et Marbache.

» La formation affleure sur les pentes qui limitent les plateaux » oolithiques, à la base des escarpements calcaires qui les dominent ; » par suite de son plongement général vers l'ouest, elle disparaît » sous la vallée de la Moselle, un peu au delà de Liverdun et de » Maron.

» Trois couches de minerai de fer, séparées par des intervalles » stériles ou pauvres, constituent la formation ferrugineuse ; chacune d'elles peut à son tour se décomposer en plusieurs bancs » séparés par des intervalles appauvris ; cette structure est assez » fréquente dans la couche inférieure.

» La puissance des couches et la qualité de leur minerai varient

» beaucoup et souvent avec une extrême rapidité; sur l'espace » d'un petit nombre d'hectomètres, on peut rencontrer de profondes modifications de ces éléments; la forme des bancs riches » paraît se rapprocher de celle de lentilles irrégulières allongées. »
Telle est l'appréciation de l'Ingénieur chargé du contrôle des exploitations et appelé, en remplissant ses fonctions élevées, à comparer utilement les conditions générales de leur ensemble.

Couche supérieure. — Comme exemple plus détaillé du gîte tel qu'il se présente dans une concession donnée, la Société des Ingénieurs civils a déjà, dans ses archives, pour le groupe de Nancy, une note de M. V. Gazan qui a décrit en 1878 les travaux de la concession de Marbache, appartenant à l'usine de Pont-à-Mousson avec diverses coupes montrant les couches exploitées; il résultait alors de différents sondages et des observations recueillies dans les galeries que, le long des affleurements de l'est, la couche supérieure exploitée à Marbache, comme dans les mines de Bouxières-aux-Dames et de l'Avant-Garde, se maintenait dans la concession de Marbache avec une puissance moyenne de deux mètres en deux bancs *a* et *b*, ayant :

Le premier environ 0,90 *m* d'épaisseur de minerai jaune-brun, à grains jaunâtres et brunâtres, mêlés de débris coquilliers menus et de veines obliques de calcaire cristallin;

Le second environ 1,05 *m* à 1,10 *m* de minerai jaune-noirâtre plus alumineux, dont voici les compositions respectives:

COMPOSITION	*a*	*b*	FER MÉTALLIQUE	
			AVANT CALCINATION	APRÈS CALCINATION
Silice.	4,60	11,40	*a* 28,30	*a* 37,50
Alumine	7,40	10,00	*b* 35,70	*b* 42,30
Chaux	21,30	8,80	NOTA. — Le minerai de fer de Marbache contient du phosphore dont la proportion semble augmenter avec la chaux; mais il est exempt de pyrite de fer : les analyses indiquent à peine des traces de soufre.	
Magnésie	1,60	3,00		
Peroyxde de fer. . .	40,40	51,00		
Acide phosphorique .	0,85	0,70		
Perte au feu	24,70	15,60		

Une galerie, dirigée du nord à l'ouest dans cette couche, a permis de constater que l'épaisseur se maintenait jusqu'à la distance de 445 *m* des affleurements, se réduisait progressivement à partir de ce point, aux dépens du banc calcaire jaune rougeâtre qui disparaît à 600 *m* des affleurements; le minerai dégénère alors

en une couche de marnes bleuâtres parsemées de grains ferrugineux.

On a ainsi reconnu deux grandes lentilles successives aplaties qui, exploitées dans les proportions voulues, fournissent un lit de minerai calcaire et alumineux de fusion convenable sans l'emploi de castine; c'est une condition favorable et même privilégiée; la prospérité des fonderies de Pont-à-Mousson doit beaucoup à sa concession de Marbache dont la valeur est bien affirmée par ses chiffres de production:

En 1886. . . . . 112 188 *t*,
En 1887. . . . . 87 100 *t*

Précédemment l'extraction moyenne de 110 000 *t* avait atteint jusqu'à 140 000 *t* par an; la mise en exploitation remonte à l'année 1857 et se pratique par la méthode des piliers et galeries. 130 hommes y sont occupés avec 14 chevaux pour le roulage des wagons; la puissance de la couche abattue allant jusqu'à 2,40 *m* dans sa plus grande épaisseur, les chantiers sont vastes, bien aérés; le minerai est soigneusement trié et même débité dans les travaux souterrains, de manière à arriver au rendement de 34 0/0 au fourneau, en laissant les parties pauvres dans la mine. La longueur des galeries entretenues dépasse 11 000 *m*; les galeries principales débouchent à mi-côte et le minerai est descendu, soit au chemin de fer, soit au canal par des balances et plans inclinés.

Couche moyenne. — La couche moyenne est exploitée dans les mines de Chavigny, Ludres, Fontaine-des-Roches, Val-de-Fer, Champigneulles et la Voiletriche.

La mine de Ludres alimente les hauts fourneaux de Pompey. La concession fut accordée à MM. Dupont et Dreyfus par décret du 20 septembre 1873; les laminoirs de Pompey étaient déjà en construction avant cette date et la question se posa de savoir s'il fallait construire les hauts fourneaux près de la mine pour ne transporter que la fonte ou transporter le minerai à l'usine où se réuniraient toutes les opérations métallurgiques. Cette dernière solution l'emporta et elle n'a pas été regrettée, malgré la necessité d'un transport kilométrique important qui se fait par trains complets dans des wagons appartenant aux forges.

Organisée par l'auteur du mémoire, cette exploitation porte sur deux centres par suite de la forme qui a découpé le périmètre concédé en deux sièges reliés entre eux par un chemin de fer

extérieur; la production est devenue rapidement importante; elle atteignait en **1883-84 146 680** *t;* l'extraction de **1886** a été de **96 527** *t* et celle de 1887, de **92 814** *t.*

Voici deux coupes du gîte ferrugineux de Ludres présentées au Congrès de 1887 par M. Lamarche, directeur actuel de l'exploitation minière et métallurgique:

Coupes du gîte ferrugineux de Ludres et analyses moyennes :

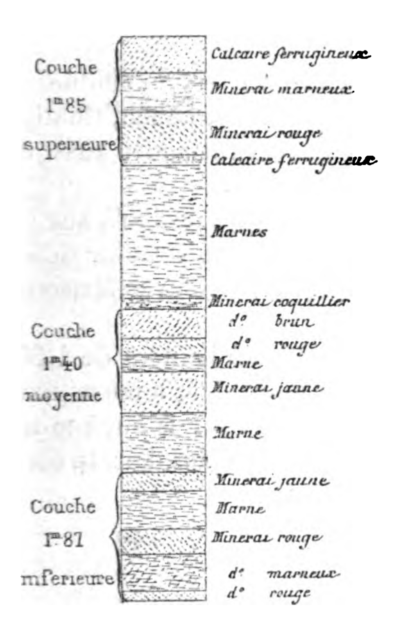




Fig. 2. — Partie nord.

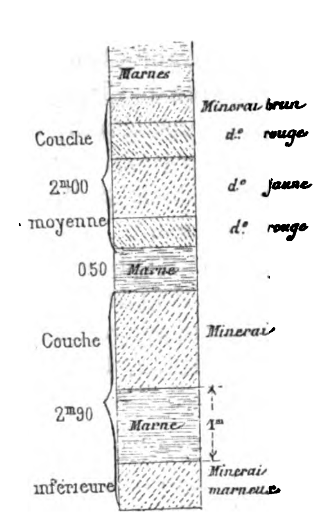


Fig. 3, — Partie sud.

COMPOSITION	ANALYSES MOYENNES	
	CALCAIRE FERRUGINEUX	COUCHE MOYENNE
Silice	9,00	6,50
Alumine	6,62	13,50
Chaux	23,45	7,40
Magnésie	0,90	0,40
Sesquioxyde de fer	35,30	50,20
Perte au feu	23,00	20,70
TOTAL	99,07	98,70
Fer métallique	24,70	35,40

La mine de Chavigny, dont la concession pénètre comme un coin dans les deux branches de celle de Ludres, est la plus importante; son extraction a atteint, en 1886, 240 825 *t* et, en 1887, 206 708 *t*.

Cette mine, dont le précédent propriétaire, M. Steinbach, avait fait, avec son directeur, M. Mayer de Lewalt, une exploitation modèle, a été acquise par la Société anonyme des Forges et Aciéries du Nord et de l'Est. Sa qualité passe ponr la meilleure du groupe de Nancy, de même que son prix de revient est un des plus bas.

Couche inférieure. — La couche inférieure est exploitée dans les mines de Frouard, Boudonville, Maxeville, Laxou, Chaligny-Ouest et la Grande-Goutte. On commence à l'attaquer aussi dans les concessions de Chavigny et du Val-de-Fer.

Voici les renseignements fournis au Congrès de 1887, sur cette dernière concession, par M. de Lespinats, administrateur délégué et directeur de la Société métallurgique de Neuves-Maisons et Champigneulles.

La couche moyenne est exploitable sur une hauteur de 1,30 *m*; en déduisant les pertes et prenant pour densité du minerai extrait 2,4, on estime un rendement de 5 760 000 *t* sur la surface à exploiter de 240 *ha*, 15 *ha* ayant été déjà exploités dans la couche moyenne, avec la composition suivante :

Silice	12
Alumine et acide phosphorique	9
Chaux	9
Magnésie	0,3
Peroxyde de fer	51
Eau et acide carbonique	18,7
Total	100,0
Fer métallique	35 0/0

c'est la composition probable pour la moitié de la concession; mais, dans la deuxième partie, celle du nord, on doit s'attendre à une augmentation de 1 à 2 0/0 de silice et à une diminution de 2 0/0 de fer.

Dans la couche inférieure, M. de Lespinats calcule un rendement de 9 604 800 *t* pour 348 *ha* et une composition de minerai moins calcaire :

Silice.	13	à	15
Alumine et acide phosphorique .	10		11
Chaux et magnésie.	8		6
Peroxyde de fer	51		51
Eau et acide carbonique	18		17
	100		100
Fer métallique	35 0/0.		

Un chemin de fer minier fonctionne depuis la fin de 1885 ; il a 1 *m* de voie, 5 *km* de long de la mine à l'usine de Neuves-Maisons, où des wagons de 10 *t* de charge conduisent le minerai cassé au sortir des galeries sur grilles en fer ; le chargement s'effectue rapidement à l'aide de trappes ; en arrivant à l'usine, le minerai tombe dans des couloirs qui le répartissent dans quatre wagons de chargement du fourneau, contenant chacun 2 500 *kg*.

C'est une manutention complète, simple et économique ; elle est à noter.

Ce chemin de fer minier a coûté un million, à cause de nombreux travaux d'art, ponts, souterrain, viaduc métallique et tunnel de garage ; mais c'est une dépense fort utile. Le minerai est descendu à volonté soit à l'usine, soit au canal, soit au grand chemin de fer et à un prix très bas.

Méthodes d'exploitation.

Le groupe de Nancy a eu quelques exploitations à ciel ouvert ; mais les terrains de dépôt, aptes à recevoir les déblais, ne sont pas dans des conditions de stabilité suffisante pour les surcharger ; les eaux pluviales s'infiltrent à travers les lignes naturelles de cassure et rendent mouvantes les marnes argileuses qui se soulèvent et dont le mouvement présente les irrégularités du chaos, quand la surcharge fait pénétrer les roches massives dans une sorte de magma détrempé. C'est ce qui est arrivé près de Ludres, en occasionnant un important bouleversement sur une grande surface de terrains glissants et en mettant fin aux travaux à ciel ouvert, qui devenaient plus onéreux que les travaux souterrains.

Ces derniers se pratiquent assez simplement, grâce à la régularité des couches presque horizontales ; le traçage des galeries de roulage et d'aérage prépare d'abord le massif à attaquer dans une couche donnée ; leur direction n'est pas indifférente à cause des pentes à prévoir et de l'écoulement des eaux, quelquefois abondantes.

Les fissures naturelles peuvent aider à l'aérage et dispenser d'un puits pendant un certain temps; mais dès qu'on découpe le massif par des galeries secondaires pour la préparation des dépilages et dès qu'on dépile un quartier avec activité, il est difficile d'éviter une aération plus efficace à l'aide d'un puits qui évacue l'air vicié et la fumée des lampes et de la poudre.

Ces puits sont faciles à établir; ils débouchent dans des bois audessous desquels la mine est généralement en travail; leur hauteur peut être choisie sans difficulté, moyennant entente avec le propriétaire de la surface, entente longtemps nécessaire quand l'effet des dépilages et des déboisages des chantiers amène, après l'effondrement du toit de la couche, des dislocations successives de terrains, visibles à la surface et comportant indemnité.

Les mines sèches et à toit solide sont les plus avantageuses, quand, en même temps, la puissance atteint deux mètres de bon minerai.

C'est le cas à Marbache; dans la couche supérieure, sur la galerie principale, s'embranchent, à droite et à gauche, des galeries secondaires obliques, afin d'éviter les plaques et de raccorder les voies par aiguilles; dans chaque galerie secondaire, on perce, tous les 12 *m*, des entrées de chantiers qui s'élargissent, quand on a dépassé la bande de protection à ménager, tant que doit durer la galerie secondaire; le minerai est abattu à la poudre; le mineur a pratiqué d'abord un havage assez profond et foré un ou plusieurs trous, selon le bloc à abattre; il obtient de 5 à 8 *t* de minerai avec 1/2 *kg* de poudre; le toit est étayé, pendant le dépilage, au moyen de bois ronds très solides.

Dans la couche moyenne, à Ludres, deux galeries principales marchent parallèlement à une distance de 200 *m*; tous les 60 *m* se détachent, en ayant soin d'alterner les entrées de 30 *m*, des galeries secondaires, découpant ainsi de longs massifs en direction; sur ces galeries s'ouvrent, suivant l'amont-pendage, des chantiers distants de 10 *m* d'axe en axe et menés sur 3 *m* de large jusqu'à la bande de protection de la galerie secondaire; on s'arrange pour dépiler en battant en retraite et pour ne conserver qu'un minimum de galeries à entretenir.

Le pilier préparé est enlevé par tranches de 4 à 5 *m* normales à la direction du chantier; ou déboise après dèpilage et, si l'on a eu soin de mettre plus de bois qu'il n'en faudrait d'une façon stricte, on travaille avec plus de sécurité tout en assurant le retrait presque complet des bois en bon état; cette opération dépend du reste

beaucoup de la solidité du toit, de sa résistance à l'action de l'air, des fissures et de la sécheresse relative du massif.

On laisse subsister les bandes de protection des galeries secondaires tant que le moment n'est pas venu de les enlever pour fin de service; alors on les reprend aussi par tranches normales; tout le minerai ayant été enlevé, les éboulements qui doivent avoir lieu s'achèvent; il arrive souvent que le foisonnement des roches enchevêtrées modère et limite les dégâts superficiels.

Prix de revient.

L'abondance et la facilité d'extraction du minerai qu'il s'agit seulement d'abattre, en ne remblayant que les vides produits, dans des couches régulières sans grand triage, explique la modicité du prix de revient sur le parc de la mine: il varie de 2 à 3 *f*, soit en moyenne 2,50 *f* la tonne; il faut des circonstances défavorables, telles qu'une couche mince, mouillée, ou bien un mauvais toit pour dépasser 3 *f* et arriver même à 4 *f*.

A ce prix moyen de 2,50 *f* pour le minerai extrait souterrainement, il faut ajouter les frais de transport composés de deux éléments:

1° Les frais de descente du niveau des galeries principales, débouchant à flanc de coteau, jusqu'au niveau des usines dans la vallée, ou à celui des canaux et de la grande ligne de fer; ils varient de 0,20 *f* à 0,60 *f* pour petites voies ferrées ou plans inclinés.

2° Les frais de transport par chemin de fer ou par canal; la plupart des usines emploient de préférence le transport par fer dans des wagons de 10 à 15 *t* de charge leur appartenant et formant des trains complets réguliers pour le prix 0,50 *f* à 1 *f* la tonne, selon les distances.

Le minerai, rendu à l'usine, ressort ainsi de 3 à 4 *f* la tonne, tous frais compris.

Exceptionnellement on voit encore, par exemple à Laxou et à Frouard, le transport par charrettes mais pour un tonnage assez faible de minerai spécial ou servant d'appoint à un tonnage plus important.

B. — Groupe de Longwy. — L'étage ferrugineux constitue aux environs de Longwy, contrairement à ce qui a lieu autour de Nancy, à cause de la puissance de l'argile du toit, une sorte de plateau au pied de l'escarpement formé par le calcaire à entroques;

cette circonstance caractérise le faciès des gisements de Longwy et facilite l'exploitation à ciel ouvert.

Une note très complète a été lue à la réunion du Congrès de l'industrie minérale à Longwy, par M. N. Simon, directeur des mines à Hussigny; elle est accompagnée d'une carte des plus instructives, où l'on peut suivre toute cette partie de la formation depuis sa naissance à Vezin, près de Longuyon, jusqu'à la frontière belge et luxembourgeoise; puis dans le Luxembourg jusqu'aux environs de Dudelange, d'où elle se dirige en Lorraine annexée, vers le village de Marspich, entre Hayange et Thionville, pour venir, à une distance de 8 *km* à l'ouest de la Moselle, au delà de Metz, jusqu'à Ars-sur-Moselle et Corny, où elle est interrompue; puis elle reprend en France, à partir de Marbache et autour de Nancy, comme on l'a vu plus haut.

Cet ensemble forme une énorme lentille allongée dont le maximum de puissance se trouve à l'altitude la plus élevée, avec six couches d'après la coupe ci-jointe, prise dans les belles exploitations d'Hussigny :

Les cinq premières couches y sont exploitées à ciel ouvert; déduction faite des intercalations stériles, la richesse minérale forme 16,20 *m*, savoir :

I.	— Première couche de calcaire ferrugineux	1,90 *m*
II.	— Deuxième — —	2,50
III.	— Minerai rouge (couche la plus exploitée avec bancs stériles et rognons calcaires)	5,50
IV.	— Minerai gris (un tiers rognons calcaires pauvres) . . .	4 *m*
V.	— Minerai noir (un dixième rognons calcaires pauvres) .	2,30
	Total.	16,20 *m*

Exploitation a ciel ouvert de la Côte-Rouge

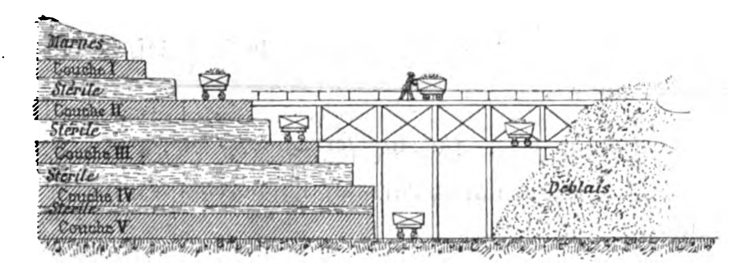


Fig. 4. — Grande exploitation d'Hussigny.

La couche VI, couche verte, n'est pas exploitée, parce qu'elle est pyriteuse; hauteur, 2,30 *m*.

La formation ferrugineuse est, en ce point, de 28 *m* d'épaisseur, en y comprenant les bancs stériles.

L'épaisseur moyenne peut être comptée à 22 *m*, mais dans la di-

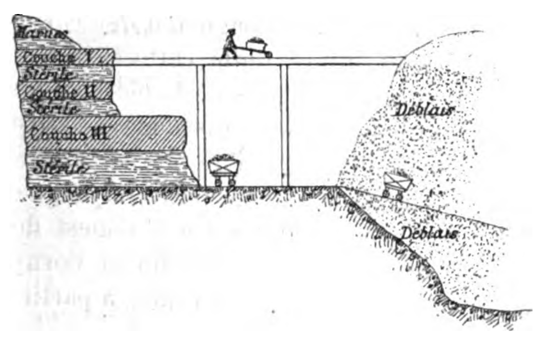


Fig. 5. — Petite exploitation d'Hussigny.

rection de l'Est, vers la Moselle ; l'altitude et l'épaisseur diminuent ainsi à Hayange et à Moyeuvre, où se trouvent seulement 16 *m* et à Flavigny 6 *m*.

Voici les observations de M. Simon sur les couches exploitées dans les minières de la Côte-Rouge, à Hussigny et à Villerupt :

COMPOSITION DES COUCHES	I	II	III	IV	V
Perte au feu	18,00	19,50	15,00	13,00	14,00
Silice	13,50	8,70	12,50	18,00	10,50
Alumine	8,00	6,27	6,80	7,00	5,00
Chaux	15,00	19,95	6,50	1,80	2,10
Acide phosphorique	»	»	1,00	1,25	1,60
Sesquioxyde de fer	46,00	45,10	58,28	59,00	66,00
Total	100,50	99,52	100,00	100,05	99,20
Fer métallique	32,20	31,57	40,74	41,30	46,20

Couche I. — *Calcaire ferrugineux supérieur.*

La gangue est régulièrement mélangée avec le minerai qui est assez dur.

Couche II. — *Calcaire ferrugineux inférieur.*

Le minerai est irrégulier, tantôt riche et friable, tantôt calcareux et très dur, avec intercalations de forme lenticulaire.

COUCHE III. — *Minerai rouge.*

La consistance est dure et assez régulière, sans rognons calcaires.

COUCHE IV. — *Minerai gris.*

La compacité est variable; la couche contient un tiers de rognons calcaires, très durs.

COUCHE V. — *Minerai noir.*

C'est le minerai le plus riche en fer; il est généralement friable.

COUCHE VI. — *Minerai vert.*

Indiqué pour mémoire; il n'est pas exploité à cause du soufre contenu.

Exploitation à ciel ouvert. — Les membres du Congrès n'oublieront pas le spectacle grandiose offert par toutes ces couches en travail, avec leurs gradins méthodiquement disposés et attaqués.

L'enlèvement des déblais est payé 0,75 *f* le mètre cube et le minerai 1 *f* le mètre cube. Le prix de revient se tient entre 1,50 *f* et 1,75 *f* par tonne; il importe d'acquérir à l'avance les terrains bien placés pour recevoir les dépôts.

Exploitation souterraine. — On n'exploite par galeries que les couches II, III et IV.

Dans la magnifique concession de Godbrange, qui est la plus grande du bassin de Longwy, l'exploitation de la couche rouge (nº III) est aménagée de la façon suivante :

Une galerie principale est tracée du nord au sud et reçoit les entrées de galeries secondaires inclinées sur elle à 120°; sur ces galeries obliques, une fois tracées, s'ouvrent à des distances réglées à 12 *m*, les rameaux d'attaque pour les dépilages; toute galerie de roulage est protégée par un massif de 12 *m;* on enlève le minerai intermédiaire par chantiers de 9 *m* de largeur, menés toujours en rabattant, sauf à laisser les piliers jugés nécessaires à la solidité du toit; la galerie principale étant à contre-pente, serait envahie par les eaux si l'on n'avait eu soin de construire une galerie spéciale d'assèchement pour recueillir les eaux de la mine et même celles de l'extérieur, ce qui n'est pas partout possible, quand les niveaux ne s'y prêtent pas.

Le prix de revient est d'environ 2,60 *f* par tonne, tous frais compris; la production d'un mineur dans la mine est de 3,34 *t* tandis que dans la minière il arrive à 4,16 *t*, selon les chiffres de comparaison pris en 1884.

Telle est la richesse minérale des nouveaux fourneaux créés dans la Côte-Rouge, avec l'embranchement de Longwy à Villerupt dont il va être question.

Embranchement de Longwy à Villerupt.

Si on jette les yeux sur une carte du canton de Longwy, l'examen de la frontière montre au nord le territoire belge, au droit de Mont-Saint-Martin qui est la station des aciéries de Longwy, puis le territoire luxembourgeois, en face de Saulnes. A partir de ce point, la limite du Luxembourg et de la France est formée par le ruisseau de la Côte-Rouge, affluent de la Chiers, qui passe à Longwy et vient se jeter dans la Meuse aux environs de Sedan. Au delà de la station d'Hussigny, on trouve le territoire lorrain de l'ancien département de la Moselle, avec ses villages de Redange et Russange, en face des localités plus heureuses conservées à la France par l'intervention personnelle de M. Pouyer-Quertier, savoir : les villages de Thil et de Villerupt. Entre Godbrange et Thil apparaît la ligne de faîte dont le point culminant n'est pas loin de Tiercelet : c'est la ligne de partage des eaux des bassins de la Meuse et de la Moselle. Un peu au-dessus de Thil naît l'Alzette qui descend à Villerupt, puis à Micheville et traverse le coude de la Lorraine allemande qui enserre comme une proie la pointe du territoire français. La station extrême de l'embranchement porte le nom de Micheville-Villerupt; elle est à la côte de 356, celle de l'usine de Villerupt étant de 330 *m*, sans raccordement autorisé entre les lignes allemande et française. La dernière station allemande est à Audun-le-Tiche; mais un raccordement industriel dessert les usines de Micheville et Villerupt, principalement pour le service des combustibles et des minerais calcaires importés du Luxembourg; la différence de niveau est rachetée par des monte-charges munis de chambres à poudre, en vue d'une destruction rapide en cas de nécessité.

Après l'examen de la frontière, si on revient à la voie ferrée, au départ de Longwy, on trouve que le long de cette ligne, qui a seulement 18 *km* de longueur, viennent de s'élever, à des dates assez rapprochées, d'importantes usines à fonte à chacune des

stations dont les noms suivent : Senelle, Saulnes, Godbrange-Hussigny, Micheville, Villerupt.

Toutes ces usines consomment directement à leur porte le minerai qui existe tout le long du tracé de la ligne, qui, d'ailleurs, alimente aussi, par des expéditions de trains complets, les anciennes usines de Longwy et même des hauts fourneaux extérieurs au département. On peut dire que l'abondance du minerai, qui a donné son nom à la vallée de la Côte-Rouge, en fait la ressource actuelle qui alimente le groupe de Longwy et quelques fourneaux du nord.

Par suite du développement extraordinaire qu'a pris le trafic de la ligne de Longwy à Villerupt et qui s'explique par le mouvement de trains chargés dans les deux sens, il a déjà fallu procéder à des remaniements et augmenter notablement les voies et garages. Il faut dire aussi qu'en pays d'extrême frontière ces questions qui intéressent non seulement l'industrie locale, mais aussi la défense nationale, sont d'une nature extrêmement délicate, et qu'il n'est pas toujours facile de concilier leurs exigences ; c'est pourquoi ces considérations stratégiques devaient être mentionnées pour expliquer les difficultés à vaincre dans l'établissement des raccordements particuliers.

Allure des couches de la Côte-Rouge.

M. Simon a fait les observations suivantes :

1° La plus forte puissance de la formation ferrugineuse se trouve aux altitudes les plus élevées ;

2° La ligne de faîte entre Hussigny et Villerupt sépare deux régions distinctes : celle de l'ouest formant les bassins de Longwy, Longuyon et Briey, et celle de l'est formant les bassins de l'Alzette (France et Luxembourg), et ceux de la Fensch, de l'Orne et de la Moselle (Lorraine annexée).

Failles. — Sur le versant est, on remarque une série de failles qui abaissent graduellement la formation vers le bassin de la Moselle (1).

La faille d'Hussigny, dont le rejet est de 31 *m*, modifie l'inclinaison de la formation qui était est-ouest, et devient inverse à partir du plan de fracture.

Comme faille plus importante à signaler, au delà de Villerupt,

(1) Voir la carte dressée par M. Simon. — *Bulletin de l'Industrie minérale*, 1re livraison. 1887.

près des exploitations de la Société de Châtillon et Commentry, il faut citer la faille d'Audun-le-Tiche, dont le rejet est de 60 *m*; de telle sorte qu'en sortant du village on remarque, sur la côte ouest de la route, le lias au sommet de la montagne, à l'altitude de 360 *m*, tandis qu'à l'est se présente, sur une grande étendue, l'oolithe moyenne avec son calcaire exploité comme pierre de taille, dans des carrières importantes, et à un niveau de 60 *m* inférieur.

En suivant cette faille qui est nettement dessinée sur ce terrain, on est surpris de se trouver à Crusne, devant une masse de calcaire à polypiers, dont l'épaisseur atteint environ 40 *m* et qui se trouve portée à l'altitude de 437 *m* au sommet.

Cette énorme faille se prolonge suivant la direction E. 64° N. jusques Higny.

Le rejet de ces failles a lieu de l'ouest vers l'est.

Région ouest ou *bassin de Longwy.* — Hussigny étant toujours le point de départ comme celui de la formation complète, on constate dans la région ouest :

Aux altitudes :

De 362 *m*	à Hussigny.	28	*m* d'épaisseur.
— 317 —	à Herserange et Saulnes.	20	—
— 276 —	à Senelle.	»	—
— 275 —	à Mont-Saint-Martin.	»	—
— 251 —	à Réhon.	11,60	—
— » *m*	à Vezin.	8	*m*

Le minerai de la région est à gangue siliceuse, tandis qu'elle est calcaire dans la région est.

Voici les analyses dans un certain nombre de points :

COMPOSITION	HERSERANGE ET SAULNES		REHON ET COSNES	MONT-ST-MARTIN	VEZIN
	II	III	III	III	III
Perte au feu.	21,00	15,00	15,50	13,00	19,00
Silice	11,00	12,80	20,10	16,50	28,00
Alumine.	6,00	7,00	6,60	7,00	3,77
Chaux.	18,00	7,00	3,40	3,50	12,40
Sesquioxyde de fer. . .	42,80	57,10	54,40	60,00	36,43
Fer métallique	30,00	40,00	38,08	42,00	25,50

Les premières concessions du groupe de Longwy, dans l'ordre

de leur institution, ont une extraction très réduite depuis que les usines ont pu s'alimenter de meilleurs minerais, c'est-à-dire de minerais moins siliceux par l'embranchement de Longwy à Villerupt.

Cependant celui de la concession de Mexy continue à figurer dans l'extraction annuelle pour un chiffre élevé, **90 165*t* en 1887;** il entre en mélange avec d'autres minerais dans le lit de fusion de l'usine de Senelle, car il est assez riche en fer.

Minerai de la couche inférieure de Mexy :

Silice	14.2
Alumine	7.5
Chaux et magnésie	4.1
Acide phosphorique	1.4
Fer métallique	41.7

— La concession de Lexy, appartenant à la Société de la Providence, n'est plus exploitée que pour le chiffre réduit de **14 144 *t*,** malgré sa puissance, et cela s'explique par la proportion croissante de silice à mesure qu'on s'éloigne des affleurements, ainsi que le montre sa composition :

Minerai de la couche inférieure de Lexy ($h = 2, 30\ m$):

Silice	20.50
Alumine	8.90
Chaux	2.50
Acide phosphorique	1.10
Peroxyde de fer	54 »
Perte au feu	12.80
TOTAL	99.80

Cette concession forme la limite sud-ouest de la régiou siliceuse; mais à la limite nord-est de cette même région, on trouve dans les concessions de Longlaville et de Saulnes l'amélioration du voisinage de la région calcaire.

Minerais de la concession Longlaville ; extraction : 86 762 *t* :

a couche de calcaire ferrugineux de 2,20 *m* d'épaisseur;
b dont 1/3 de minerai friable intercalé;
c couche de minerai rougeâtre de 2,15 *m* ;
d dont 1/8 de rognons calcaires ayant la composition ci-dessous :

COMPOSITION	*a*	*b*	*c*	*d*
Silice	8,6	18,5	11,1	12,1
Alumine	6,0	12,8	10,0	5,0
Chaux et magnésie	21,9	2,6	6,6	20,0
Acide phosphorique.	0,4	2,0	1,8	1,6
Fer métallique	26,7	34,3	39,4	26,8

Ces minerais traités à l'usine de Saulnes, appartenant à la Société Raty et C[e], sont cassés à la main pour passer à l'anneau de 15 *cm* et enrichis à une teneur de 40 0/0 de fer métal par un triage rigoureux, avant le transport à l'usine, où le minerai est culbuté sur des grilles en fer pour séparer le gros et le menu et en employer les proportions à volonté. De plus, la reprise se fait à couvert, ce qui devrait s'organiser partout.

Dans la concession de Saulnes, où le chiffre d'extraction a atteint 149 960 *t.*, le minerai est beaucoup plus calcaire.

Les lettres *e*, *f*, *g*, *h*, du tableau ci-dessous se rapportent aux diverses qualités des couches exploitées, savoir :

e calcaire ferrugineux de 3 à 4 *m* d'épaisseur;
f dont un tiers de minerai friable intercalé;
g minerai jaune rougeâtre de 1,95 *m* d'épaisseur pris dans la couche supérieure;
h minerai jaune brun de la couche moyenne, ayant 1,60 *m* d'épaisseur et contenant un septième de rognons calcaires.

COMPOSITION	*e*	*f*	*g*	*h*
Silice	9,0	16,0	13,5	1358
Alumine	6,5	9,5	9,6	8,1
Chaux et magnésie	27,1	4,2	8,5	8,8
Acide phosphorique.	0,6	1,0	»	»
Fer métallique	20,6	37,3	37,3	3805

Il reste à mentionner la concession d'Hussigny qui appartient à la région calcaire et dont le chiffre d'extraction est le plus important du groupe. En 1887, il a atteint 183 936 *t.*

Ce minerai est le gros appoint de l'alimentation des fourneaux de *la Providence*, qui consomment :

5 0/0 des minerais de Rehon (voir plus haut l'analyse);
18 — minerais ordinaires d'Hussigny;
77 — — calcaires —

COMPOSITION	MÊME COUCHE DE 3m,50		COUCHE DE 3m (supérieure)
	CALCAIRE FERRUGINEUX	MINERAI FRIABLE	MINERAI ROUGEATRE
Silice.	10,0	10,0	12,5
Alumine	6,0	5,0	7,4
Chaux	25,7	6,0	6,9
Acide phosphorique . . .	»	»	1,2
Fer métallique.	25,5	42,1	40,4

Région Est. — Bassin de l'Alzette.

Au terminus de l'embranchement de L. à V. à Micheville et Villerupt sont les hauts fourneaux, élevés près de la frontière et alimentés de minerai par l'extrême bordure du massif de la Côte-Rouge et d'eau par l'Alzette.

Voici la coupe de la formation ferrugineuse au sud de Ville-

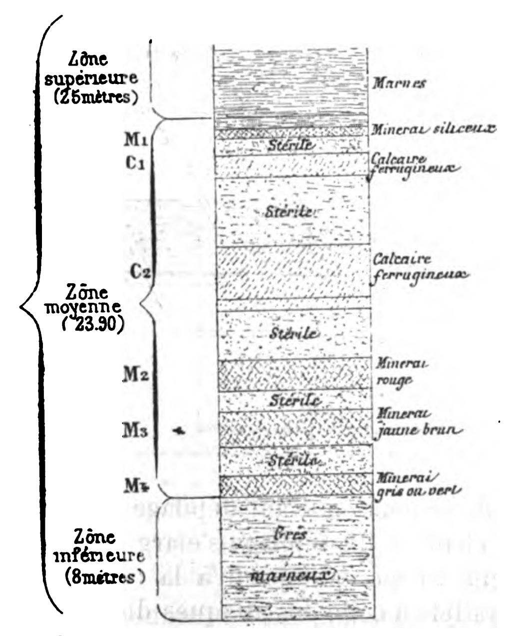


Fig. 6. — Coupe de la minière du Lock à Villerupt.

rupt, prise dans la minière du Lock ; son épaisseur est de **23,90** *m* et comprend **2** couches de calcaire ferrugineux et **4** couches de minerai, en tout **10** *m* utiles, seulement exploitables à ciel ouvert.

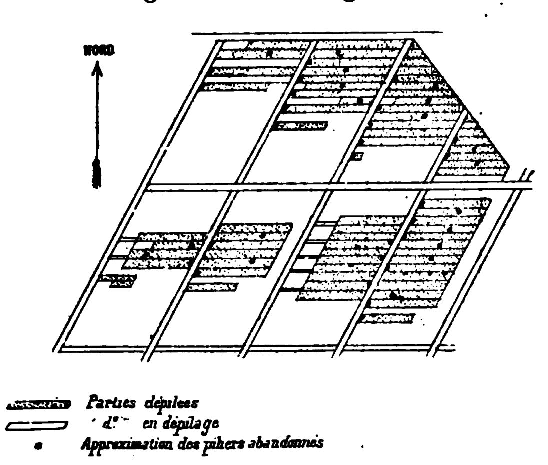
Savoir :	4,700 *m*	de calcaire ferrugineux,
et	5,300 *m*	de minerais.
Total	10 »	*m. calc.*

Tandis que par galeries on ne peut prendre que 3,40 *m* calc. fer.
et 2 » *m* minerai.

TOTAL 5,40 *m*

M. de Retz, directeur des mines et usines de Villerupt, a décrit, dans une note très complète, insérée dans le compte rendu du Congrès de **1887**, la méthode appliquée à l'exploitation souterraine de la concession contiguë à la minière du Lock.

Le plan d'une partie en dépilage montre la galerie principale de roulage débouchant au niveau des gueulards des fourneaux ; puis le régime des galeries secondaires inclinées de **120°** sur la galerie principale, les massifs de 50 *m* $\times$ 100 *m* et les galeries de recoupe parallèles à la galerie de roulage.



Les bandes de protection avant dépilage sont réglées à **10** *m* ; les entrées de chantier de dépilage s'élargissent alors à 5 *m* et le chantier marche en montant jusqu'à la rencontre de la galerie secondaire parallèle à celle des attaques distantes de **10** *m* d'axe en axe.

Pour avoir un minimum de galeries à entretenir, on supprime tous les 100 m une galerie secondaire sur deux; on retire ainsi les bois et le minerai des bandes de protection.

Cette méthode permet d'enlever presque tout le minerai, sauf quelques piliers isolés jugés utiles à laisser pendant qu'on bat en retraite ou au moment du déboisage des chantiers.

La quantité de minerai produite par mineur et par jour varie de 3,500 *t* à 4 *t*.

La composition du minerai de Villerupt est donnée ci-dessous avec celle du minerai plus calcaire de Rumelange (Luxembourg), introduit avec avantage dans le lit de fusion, et du calcaire ferrugineux du Kamerb rg (territoire lorrain) appartenant à la Compagnie.

COMPOSITION	VILLERUPT	RUMELANGE (LUXEMBOURG)	CALCAIRE FERRUGINEUX KAMERBERG
Silice.	13,50	8,00	11,00
Alumine	5,70	6,00	2,50
Chaux et magnésie. . . .	8,70	17,00	25,20
Phosphore	0,75	0,69	0,71
Fer.	37,50	34,50	25,00

Il sera parlé plus loin des sondages qui ont valu à la Compagnie le 18 juin 1866, la concession de Giraumont dans le groupe de Briey.

La minière de Lock appartient à la Société des mines de Meurthe-et-Moselle et usines de Villerupt, qui exploite aussi les minières de la Kelle et de la Gare.

A la Gare l'hectare exploité produit environ 120 000 *t* de minerai pour une hauteur utile de :

2,40 *m* calcaire ferrugineux,
1 » *m* minerai rouge,
2,30 *m* d° gris.
Total 5,70 *m*

Au Lock et à la Kelle il y a en tout 7 *m* utiles et l'hectare fournit 180 000 *t*.

La Société possède des concessions qu'elle aménagera plus tard.

Pour le moment elle emploie les minerais A, B et C dans les proportions respectives de :

33 A minerai rouge,
41 B calcaire ferrugineux,
28 C minerai gris siliceux.

Ainsi composés :

COMPOSITION	*A*	*B*	*C*
Silice.	14,5	10,0	16,9
Alumine	5,1	4,5	5,5
Chaux	10,3	24,0	7,0
Fer.	37,5	26,0	38,4

Le minerai C appartient à la couche la plus basse de la formation de Villerupt et sa richesse en fer dépasse souvent 40 0/0 ; c'est à ce minerai siliceux qu'on attribue dans le pays, pour la fonte grise, la qualité des fontes dites à peau lisse, recherchées pour moulages de poterie, poêlerie et pièces à travailler.

Il reste à dire un mot des mines de la plus importante usine de Villerupt, celle de Micheville, appartenant à MM. Ferry-Curicque et Cie.

L'extraction de la concession de Micheville a été de 76 078 *t* en 1877 ; mais à ce chiffre il faut ajouter un tonnage au moins égal dans la consommation des hauts fourneaux pour le minerai extrait des minières appartenant à la Société et pour les minerais complémentaires importés du Luxembourg.

Trois couches peuvent concourir à l'alimentation des deux grands fourneaux de Micheville, aptes à produire jusqu'à 130 *t* de fonte d'affinage, chacun en 24 heures :

2,50 *m*	de couche	supérieure	ou minerai	calcaire A,
2 » *m*	d°	moyenne	d°	rouge B,
1,50 *m*	d°	inférieure	d°	siliceux C,
6 » *m*				

formant en tout une hauteur utile de 6 *m* dont voici la composition avec celle du minerai gris L, importé du Luxembourg.

COMPOSITION	A	B	C	L
Silice	13,40	13,23	15,85	7,07
Alumine	6,70	7,07	6,87	6,42
Chaux	18,80	7,24	4,77	16,26
Acide phosphorique	1,16	1,56	1,45	1,64
Fer	27,02	39,80	40,80	33,38

La concession de Micheville, instituée en 1874, a une superficie de 340 *ha*
augmentée en 1878 de 60
La Société a obtenu, en 1886, la concession *de Bréhain*, qui a 373.

TOTAL 773 *ha*

C. Groupe de Briey.

Reconnaissance des couches. — La formation ferrugineuse appartient au bassin de l'Orne; le gisement y parait riche, mais il est profond; il n'est reconnu que par les témoins retirés des sondages.

C'est surtout en 1883 que les recherches ont pris une grande extension; partant des environs de Jœuf, au voisinage des mines de Moyeuvre, elles se sont propagées en éventail, de part et d'autre du cours de l'Orne; le premier sondage commençait en 1882, 14 suivaient en 1883 et 6 en 1884.

Dix-sept sondages, terminés au commencement de 1884 et disposés d'une façon méthodique, avaient reconnu un espace de plus de cent kilomètres carrés, démontrant presque partout l'existence d'un gisement riche et exploitable, avec continuation probable au delà des points explorés.

M. l'Inspecteur général des mines Castel, dans son discours d'inauguration du Congrès de l'industrie minérale à Nancy en 1887, pouvait signaler l'institution de 14 concessions, dès 1886, à la suite de sondages heureux, comprenant un périmètre concédé de 11 747 *ha*; on a vu plus haut que deux autres concessions ont été accordées en 1887 et qu'une troisième demande est à l'instruction.

Il y a donc dans le groupe de Briey, quoique, en profondeur, une très importante réserve de bon minerai de fer pour l'industrie locale.

Un seul puits a été commencé, celui d'Homécourt, dans la concession de ce nom, appartenant à la Compagnie de Vezin-Aulnoye.

Pendant que les travaux de foncement se poursuivent, la déclaration d'utilité publique a été demandée pour un chemin de fer à voie étroite de deux kilomètres de longueur environ, reliant ce puits au chemin de fer de l'Est.

Au moment de l'exploitation par puits, il ne faudra pas seulement compter avec la profondeur, mais surtout avec l'épuisement, si l'on en juge par l'exemple du premier puits de ce genre, établi en pays annexé, à Ottange, par M. le comte d'Hunolstein; malgré de très fortes pompes, on n'a pu vaincre la venue d'eau qu'après de grands efforts, des arrêts successifs et de fortes dépenses.

Il est vrai qu'à Ottange la position du puits est malheureuse, près des affleurements du ruisseau et peut-être dans une faille.

On sait qu'aux affleurements existent de nombreuses cassures dans deux directions principales; dès lors, les parties exposées aux inondations risquent fort d'être noyées, si on se trouve au-dessous du niveau des eaux.

Ce qui peut rassurer les futurs exploitants en profondeur, c'est la facilité d'assèchement de la concession d'Hayange, où des pompes assez faibles assurent l'exploitation des travaux effectués au-dessous du niveau des eaux; certaines cassures amenant de l'eau semblent équilibrées par d'autres aptes à les entraîner; de telle sorte qu'à moins de rencontre d'une faille importante, il y a lieu d'espérer un épuisement modéré et facile.

D'ailleurs, si on examine la coupe des terrains révélée par de très nombreux sondages (Fig. 4), on voit que leur superposition accuse une grande régularité et qu'après avoir cuvelé seulement la partie supérieure aquifère, il y a de grandes chances de se maintenir à sec, lorsque le toit sera et restera compact; il en résultera des précautions à prendre pour la proportion du massif à enlever, peut-être aussi pour quelques remblais qu'un triage très soigné facilitera, en laissant dans la mine tout minerai médiocre.

Probabilité d'allure des couches. — Les concessions lorraines de la maison de Wendel à Hayange et Moyeuvre, et surtout celle du *Bois-de-Briey* qui est à cheval sur la frontière, mais dont la sortie du minerai extrait ne doit pas se faire sur le territoire français puisque le chiffre d'extraction ne figure pas sur les relevés de l'administration, fournissent à l'avance de bons renseignements pour l'avenir.

Dans la concession du Bois-de-Briey (133 *ha*), trois couches paraissent exploitables et deux sont exploitées.

La couche supérieure I a 1,60 *m* d'épaissenr et n'est pas exploitée.

La couche moyenne II a 2,30 *m* à 2,60 *m* d'épaisseur et contient $\frac{2}{3}$ de minerai et $\frac{1}{3}$ de rognons calcaires.

La couche infèrieure III est à 6 *m* au-dessous de la précédente et contient $\frac{3}{5}$ de minerai et $\frac{2}{5}$ de rognons calcaires.

Leur composition ne diffère pas sensiblement de celle des minerais traités à Jœuf, dont voici les analyses :

COMPOSITION	COUCHE II MINERAI		COUCHE III MINERAI		ROGNONS
	TRIÉ	NON TRIÉ	TRIÉ	NON TRIÉ	
Perte au feu.	18,50	24,00	15,21	19,00	28,00
Silice	9,20	7,80	8,87	10,90	6,20
Alumine et acide phosphorique.	7,16	6,33	8,08	7,70	6,20
Chaux.	8,80	20,70	5,92	11,20	30,90
Sesquioxyde de fer . . .	55,10	41,90	61,28	51,20	28,70
Fer métallique	38,60	29,33	42,87	35,84	20,09

La concession du Bois-d'Avril (432 *ha*), instituée au profit de MM. Jahiet, Gorand, Lamotte et Cie, contient 3 couches de minerai, en tout 7,50 *m* de puissance.

Voici deux analyses de la couche de 3 *m*, contrôlées l'une par l'autre dans deux laboratoires différents sous les lettres *a* et *a'*.

COMPOSITION	*a*	*a'*	COMPOSITION	*a*	*a'*
Silice	8,80	8,51	Fer métallique	43,54	43,08
Alumine	6,70	8,38	Phosphore	0,80	0,83
Acide phosphorique. .	1,83	1,85		0,30	0,29
Chaux	10,75	8,08			
Magnésie.	0,98	0,64			
Peroxyde de manganèse	0,42	0,41	NOTA. — Si cette composition régnait dans toute la concession, elle serait particulièrement riche et intéressante.		
Peroxyde de fer. . . .	62,49	61,50			
Acide carbonique . . .	8,60	11,06			
TOTAL.	100,67	100,43			

La *concession de Giraumont* (800 hectares), a été attribuée à la

Compagnie anonyme de Châtillon et Commentry, à la suite des deux sondages de Beaumont et de Richemont :

Le premier a traversé	1	» m	Terre végétale,
	164	»	calcaires et couches de la formation oolithique,
	13,40		de marnes bleues micacées. supraliasiques,
En tout.	178,40	m,	

avant de rencontrer la formation ferrugineuse qui offre une couche de calcaire ferrugineux et trois couches de minerai dont deux exploitables.

Le second sondage, après avoir traversé à peu près les mêmes terrains avec les épaisseurs respectives de :

	1	» m	terre végétale,
	159	»	calcaires,
	14,45		marnes,
En tout.	164,45	m.	

jusqu'à la couche de calcaire ferrugineux, a reconnu quatre couches de minerai, dont une seule exploitable.

Les établissements du groupe de Nancy sont venus prendre leur part des concessions du bassin de l'Orne.

Dans la liste donnée plus haut, les forges de Pompey ont obtenu, en 1886, la concession de *Fleury* avec une superficie de 808 *ha*, et la Société métallurgique de Champigneulles et de Neuves-Maisons la concession de *Batilly* avec une superficie de 800 *ha ;* la profondeur du gisement a été indiquée de 200 *m* par les sondages qui ont motivé l'institution. Labry appartient aussi à cette Société.

On remarquera sur la même liste des concessions premières, après celles de Jœuf à MM. de Wendel et Cie et du *Bois-d'Avril* a MM. Gabriel, Gorand, Lamotte et Cie, anciens maîtres de forges à Ottange, la concession d'*Homécourt*, attribuée à la Société de Vezin-Aulnoye, qui a eu aussi les premiers hauts-fourneaux à Maxéville dans le groupe de Nancy, et enfin celle d'*Auboué*, obtenue par la Société anonyme des Hauts Fourneaux et Fonderies de Pont-à Mousson.

Récapitulation.

Il n'a pas été question, dans la note, des nombreux fossiles caractéristiques des étages et des couches du gisement étudié.

Il fallait se borner à une vue d'ensemble des trois groupes constituant une richesse minérale inépuisable, si les nombreux fourneaux de 100 *t* de production à alimenter ne la dévoraient nuit et jour.

En fait, il n'y a pas encore à prévoir d'épuisement rapide.

Les exploitations à ciel ouvert disparaîtront les premières avant dix à quinze ans, si l'activité actuelle se maintient.

C'est la région de la Côte-Rouge qui en aura le bénéfice pendant ce délai; on peut dire que, par cet avantage sérieux, elle se trouve dans la lune de miel, dans toute la jeunesse d'une exploitation intensive; mais, à côté d'elle, il faut voir la solidité, l'esprit de suite, les ressources de tout genre de la puissante maison de Wendel apportant à Jœuf les honorables traditions du passé avec des chefs encore jeunes, mais expérimentés, résidant au centre de leurs exploitations, au milieu d'une population ancienne et dévouée; c'est, en partie, pour ceux de ses ouvriers qui avaient dû, par suite de leur option, abandonner le sol natal que la maison de Wendel avait décidé la construction de l'aciérie de Jœuf, lorsque l'entente intervint avec le Creusot pour élever en commun des hauts fourneaux et des convertisseurs basiques, avec tous les progrès de la pratique du procédé fonctionnant déjà à Hayange.

Déjà, en 1886, les hauts fourneaux de Jœuf consommaient plus de 300 000 *t* de minerai extrait de ses concessions lorraines, celles de France étant à peine entamées.

La Compagnie anonyme de Châtillon et Commentry exploite aussi une concession, celle de Butte, en territoire lorrain; c'est pourquoi le chiffre de son extraction française est si peu élevé; elle importe d'ailleurs des minerais du Luxembourg pour les mélanges indiqués plus haut, mélanges appliqués dans le groupe de Longwy sur une assez grande échelle pour enlever toute proportion entre les chiffres de l'extraction locale et ceux de la production correspondante de fonte.

Résumé. — On peut estimer que le chiffre total des concessions des trois groupes de Nancy, Longwy et Briey ne s'écartera pas trop de 40 000 *ha*; en 1886 le département renfermait 86 concessions instituées sur une étendue totale de 35 399 *ha*.

Le chiffre d'extraction a déjà dépassé les deux tiers de la production française.

L'extraction a été, comme on l'a vu, de 1 953 290 *t* en 1887; elle avait été maxima en 1882, où elle avait atteint 2 160 000 *t*.

CONGRÈS MINIER ET MÉTALLURGIQUE

DE VIENNE

Par M. P. MAHLER

Le Congrès minier et métallurgique, auquel les Ingénieurs de Vienne avaient convié les membres de la Société des Ingénieurs Civils, s'est ouvert au commencement de septembre 1888, sous la présidence d'honneur de S. E. le comte Falkenhayn, ministre de l'Agriculture. Le groupe des Français occupait malheureusement bien peu de place dans la foule de 400 Ingénieurs autrichiens, hongrois et allemands, accourus à Vienne pour la circonstance. Le Génie Civil français était représenté par MM. Ronna, Gouvy et Mahler, membres de la Société des Ingénieurs Civils, par M. Villigens, inspecteur général des mines et des usines de la Compagnie des chemins de fer de l'État, et par M. Garcynski, Ingénieur à Reschitza.

Au début de la première séance, après l'élection du Bureau, M. le Prince de Salm, Président, a souhaité la bienvenue aux étrangers et a présenté à l'assemblée M. Mahler, venu spécialement à Vienne pour participer au Congrès. M. Mahler a répondu en ces termes :

« Je remercie mes collègues Autrichiens et Hongrois de leur sympathique accueil ; je les remercie aussi, au nom de la Société des Ingénieurs Civils, de l'honneur qu'ils viennent de lui faire en appelant un de ses membres, M. Ronna, à la vice-présidence du Congrès. J'espère que la plupart des Ingénieurs autrichiens et hongrois, présents ici, visiteront Paris en 1889. Nous serons heureux de les recevoir dans nos réunions. »

La première communication faite à l'assemblée, a été une remarquable étude de M. Huyssen, de Berlin, sur la préparation d'une nouvelle carte géologique de l'Europe ; puis le Congrès s'est divisé

en deux sections, l'une minière, l'autre métallurgique et les travaux ont immédiatement commencé. Ces travaux ont consisté en visites d'établissements industriels, tels que la forge de Schwechat, l'Arsenal, le Musée des arts et métiers, l'Exposition, et en séances particulières pour chacune des sections. Le compte rendu de ces travaux sera prochainement publié, *in extenso*, par les soins du comité d'organisation; j'en traduirai alors les parties les plus intérressantes. Je me borne, quant à présent, à l'analyse sommaire des séances de la section de métallurgie dont je faisais partie (1).

Les débats étaient dirigés par M. Frey, directeur de la Société Alpine et par M. Willigens.

1° Examen microscopique de la structure des fers et des aciers, par M. Wedding de Berlin.

M. Wedding éclaire fortement, par des rayons lumineux qui la frappe normalement, la surface rugueuse, préalablement trempée dans un acide faible, du métal, et la projette sur un écran. Grâce à cette image agrandie par un jeu de lentilles, M. Wedding a pu montrer à ses auditeurs, divers détails intéressants de la structure des aciers. Ainsi les molécules graphitiques que présentent les aciers sont disposées sans ordre dans la pâte du métal quand celui-ci est phosphoreux. Au contraire, l'acier est-il pur, ces molécules sont orientées parallèlement les unes aux autres. M. Wedding a aussi projeté des échantillons souffleux, et les spectateurs ont constaté que les soufflures étaient toujours dans ce que nous appelons le ciment.

2° Réduction du prix de revient des cuivres obtenus aux convertisseurs, par M. P. Manhès, de Lyon; cette note a été lue par M. Kuppelwieser.

3° Le four à puddler de M. Piecka.

Ce four, décrit par M. Schmiedhammed, ingénieur à Reschitza, présente une grande sole double ou plutôt deux soles, l'une à la suite de l'autre. Chacune de ces parties joue alternativement le rôle de sole de Cassin et de sole à puddler. Pour cela, il suffit de faire pivoter autour d'un axe vertical, le massif indépendant du

(1) Voici les titres de la plupart des études discutées à la Section des Mines :

L'industrie du pétrole en Galicie, par M. Höfer, directeur de l'École des mines de Léoben;

Sur de nouveaux explosifs, par M. Ballabène;

L'exploitation et la recherche, dans la profondeur, des minerais d'or dans les Alpes par M. Saint-Rainer;

La machine à colonne d'eau de M. Mayer. (Les membres du Congrès ont entendu la communication de M. Mayer, à l'Hôtel-de-Ville, près de la machine même qui y est installée pour commander un monte-charge).

Les procédés de congélation pour le fonçage des puits et le percement des tunnels, par M. Pœtsch, de Magdebourg.

foyer, qui contient les soles, autrement dit le four lui-même, et la partie sur laquelle on a fondu la fonte vient prendre place près du foyer, à bonne chaleur de puddlage. Pendant le travail, on charge les gueusets dans l'autre région du four.

Cette disposition facilite un travail rapide. On peut passer, dans le four Piecka, jusqu'à 16 charges en 12 heures, et la consommation en charbon n'excède pas 420 *kg* pour 1 000 de métal. Ces renseignements m'ont été confirmés dans une forge où le four est employé depuis quelque temps.

4° M. Gœdicke, directeur de l'usine de Schwechat, a présenté le four à puddler Springer. Le nouvel appareil a deux soles, comme le four Piecka. Il est chauffé au gaz et muni de régénérateurs. Les deux soles sont fixes, et la concentration de la chaleur, sur l'une ou l'autre de ces soles, se fait à l'aide d'un mouvement de vannes.

Les résultats économiques, obtenus au four Springer, ne diffèrent pas de ceux que j'ai indiqués à propos de l'appareil Piecka. Je crois, cependant, au point de vue de l'entretien, le four Piecka préférable, malgré son apparente complication de mécanisme. Quoi qu'il en soit, ces deux nouveaux fours permettront, encore quelque temps, aux ateliers de puddlage de lutter contre les progrès incessants de la fabrication des métaux fondus. Je ne pense pas, toutefois, que ces appareils puissent remplacer les petits fours pour le puddlage des fers de qualité, plus ou moins aciéreux.

5° État actuel de l'industrie du cuivre eu Hongrie par M. Neubauer

6° Influence de la fabrication des aciers fondus sur la sidérurgie Austro-Hongroise, par M. Kuppelwieser.

7° La composition des charges pour la fabrication des plombs argentifères à Schemnitz, et un nouveau procédé d'amalgamation au chlorure de mercure par M. Reitzner.

Je n'ai rien à dire sur ces mémoires qui n'offraient guère qu'un intérêt local.

8° La fabrication des métaux fondus sur sole basique à Reschitza, par M. de Gouvy. — M. de Gouvy se propose de faire paraître bientôt son étude en français. Elle contient de nombreuses notes relatives à la fusion des métaux au four Martin-Siemens. Je me contente donc ici de donner quelques renseignements que j'ai pris soit au Congrès, soit à Reschitza même.

On fabrique dans cette usine des métaux de toutes les nuances sur sole basique : le fer fondu, l'acier à bandages, l'acier de moulerie, etc. La sole est en dolomie, elle résiste longtemps à l'action

du feu et du métal, mais me paraît bien plus délicate à entretenir que la sole chromée.

Les métaux de Reschitza sont de qualité supérieure, malgré l'allure rapide des fours qui font souvent plus de quatre coulées en 24 heures. Ces métaux très purs confirment une vérité bien connue des spécialistes, à savoir qu'il n'est pas nécessaire d'abaisser beaucoup la teneur en carbone du bain pour obtenir un métal doux, quand on dispose d'un approvisionnement de matières peu phosphoreuses et surtout peu sulfureuses. C'est le cas à Reschitza, où l'on produit encore de la fonte au bois. Comme exemple, un métal de Reschitza, ayant 34 *kg* de résistance par millimètre carré de section et 68 0/0 de striction contient :

Carbone	0,17	0/0
Phosphore	0,013	»
Soufre	0,02	»

Avec les matières premières de France, où il est difficile de descendre, au four Martin, à une teneur en phosphore inférieure à 0,035 0/0, nous sommes obligés de décarburer en dessous de 0,10 pour obtenir un métal analogue comme propriétés physiques à celui de Reschitza, en supposant naturellement la même teneur en manganèse de part et d'autre. Cette remarque explique pourquoi les fours basiques français ne font pas beaucoup plus de deux coulées de fer fondu par 24 heures, tandis qu'en Hongrie, l'allure est beaucoup plus rapide.

Le Congrès de Vienne a pris fin le 7 septembre. Pendant les séances, au cours des visites industrielles, durant les banquets offerts par le Comité au Kahlenberg et au Prater, je n'ai rien constaté de plus remarquable que les sentiments ardents de cordialité et de fraternité qui régnaient entre les Ingénieurs de tant d'écoles, entre les Ingénieurs de l'État et ceux des industries privées. Certes, un Congrès ne fait pas toujours avancer d'un pas la science de l'Ingénieur, mais il favorise le développement de l'industrie du pays en créant, parmi ceux qui s'en occupent des relations et des amitiés. Je souhaite d'assister souvent à de semblables réunions en France, grâce à l'impulsion grandissante de notre Société.

E. Mahler.

COMMUNICATION DE M. L. BOUDENOOT

RELATIVE

A UN MÉMOIRE DE M. E. DAUJAT

SUR

L'EXPLOITATION DE LA DISTRIBUTION DE LA FORCE MOTRICE

A DOMICILE

AU MOYEN DE L'AIR RARÉFIÉ

Messieurs,

Le mémoire de M. Daujat a pour titre: Exploitation de la distribution de la force motrice à domicile au moyen de l'air raréfié, et il a pour objet la description des modifications diverses (perfectionnements d'appareils, améliorations de détail, etc.) qui ont été apportées, depuis le début de son fonctionnement, à ce système de distribution de force (1).

Ce sujet a déjà été traité plusieurs fois dans les séances de la Société des Ingénieurs civils qui m'a donné, à plusieurs reprises, des témoignages, dont le souvenir m'est précieux, de l'intérêt qu'elle porte à cette question à la fois sociale et industrielle, d'une importance capitale pour la petite industrie parisienne et pour d'autres petites industries françaises répandues dans plusieurs de nos grandes villes, telles que Saint-Étienne, Grenoble, Lyon, etc.

Résumé historique.

J'ai exposé ici même, dans la séance du 20 mars 1885, l'origine et les débuts de cette entreprise alors nouvelle. Je dis nouvelle, parce que l'usine de la rue Beaubourg, dont je décrivais alors les premières installations, a été, en effet, la première où l'on ait pratiqué, en France, la distribution, au domicile même des ouvriers en chambre et des petits fabricants, de la force motrice dont ils ont besoin pour actionner leurs outils.

(1) Archives de la Société des Ingénieurs civils (mémoire n° 1058).

Jusqu'à cette époque,une usine de location de force motrice— et il y en a encore beaucoup de ce genre — était constituée par un ensemble de petits ateliers spéciaux, groupés dans un seul et même immeuble auprès des machines à vapeur produisant la force. Les locataires ont à s'y rendre matin et soir, ce qui nécessite un déplacement plus ou moins considérable; ils ont à payer l'emplacement et la force à la fois, et ils ne sont pas chez eux.

On a essayé aussi d'établir une distribution dans des maisons construites tout exprès autour d'une usine de production de force: ces maisons ne comprennent, au rez-de-chaussée et au premier étage, que des logements d'ouvriers en chambre et de petits fabricants: une des pièces du logement sert d'atelier. C'est ce qu'on peut voir réalisé à Paris dans la rue des Immeubles-Industriels.

Toute la rue est occupée par des maisons bâties sur le même type; à droite et à gauche de la rue, au rez-de-chaussée et au premier étage, règnent deux longs arbres de commande qui percent tous les murs mitoyens et qui reçoivent le mouvement de plusieurs machines à vapeur pour le transmettre, par courroies, aux outils installés dans les logements qu'ils traversent.

Cet établissement a été récemment visité par M. Carnot, président de la République, qui n'oublie pas qu'il est aussi ingénieur, et qui a apporté dans cette visite l'intérêt et l'attention très légitimes que tout gouvernement vraiment démocratique, comme tout ingénieur digne de ce nom, doit attacher à la solution des questions qui touchent la classe ouvrière.

Il y avait aussi et il y a encore, bien entendu, les moteurs à gaz, les petits moteurs à vapeur, dont il n'est pas besoin de rappeler, suivant les cas, les avantages et les inconvénients.

Origine du système de distribution de la rue Beaubourg.

Mais jusqu'en 1885, personne en France, je le répète, n'avait mis en pratique cette idée féconde, d'aller trouver le travailleur dans son logement même, à son foyer et au sein de sa famille, et de mettre là entre ses mains la force motrice nécessaire à ses outils au moyen d'un procédé simple, commode, économique.

C'est ce qui a été fait à cette époque et se poursuit actuellement dans le quartier Sainte-Avoie (IIIe arrondissement), depuis l'établissement de l'usine de la rue Beaubourg, dont je m'honore d'avoir été l'un des fondateurs avec M. A. L. Petit, membre de

notre Société, et promoteur du système pneumatique de distribution de force.

Depuis lors, d'autres tentatives, d'autres entreprises ont été faites dans la même voie, mais sans revêtir, comme la nôtre, le caractère tout particulier qui la distingue exclusivement et qui en fait le précieux auxiliaire de la petite industrie parisienne, dont elle a contribué à perfectionner l'outillage et à abaisser les prix de revient, à qui par suite elle a rendu la concurrence étrangère moins redoutable et plus facile à vaincre.

Quel que soit, d'ailleurs, l'avenir réservé aux diverses entreprises du même genre réalisées aujourd'hui, il me semble intéressant de rappeler, au début de cette étude, quels sont les Ingénieurs (et je suis heureux de dire que ce sont des Ingénieurs français) qui ont donné les premiers une solution pratique du problème de la distribution à domicile de la force.

Plus l'exemple donné est fécond et trouve d'imitateurs, plus il est juste de revendiquer pour les initiateurs du mouvement la priorité qui leur est due et l'honneur qui s'y attache.

En 1885, l'usine de la rue Beaubourg sortait de terre à peine lorsqu'elle fut visitée par le président, un des vice-présidents et quelques membres de la Société des Ingénieurs Civils. Douze à quinze moteurs à air au plus fonctionnaient chez les premiers abonnés, et le vide était maintenu par une machine aspirante qui faisait ses premiers tours. Aujourd'hui le vide est maintenu par trois machines de 90 à 100 chevaux qui alimentent 120 à 150 moteurs de 1/2 cheval, de 1 cheval et 1 cheval 1/2, répandus dans un rayon de 7 à 800 *m* autour de l'usine; en outre, une quatrième machine, de 110 chevaux, actionne deux dynamos alimentant en éclairage électrique douze à treize cents lampes du voisinage.

L'expérience de ces trois années (1885-1888) a montré l'utilité, sinon la nécessité, de modifier certaines pièces des machines de production de force, comme aussi des organes de la distribution, c'est-à-dire de la canalisation et des moteurs à air; elle a amené à créer quelques instruments de réglage et divers appareils enregistreurs et indicateurs, dans le but de régulariser et de surveiller plus aisément l'exploitation.

C'est la description de ces divers perfectionnements que M. E. Daujat développe dans son mémoire, et il avait qualité pour le faire, puisque, chargé du service d'exploitation de l'usine de la rue Beaubourg, c'est lui qui en a dressé les projets, et poursuivi d'abord l'exécution, puis l'application pratique.

Je n'ai pas la pensée, ce soir, de descendre dans tous les détails que vous trouverez dans le Mémoire, et je désire seulement attirer votre attention sur les points les plus saillants et quelques résultats dont la connaissance pourrait être utilisée dans d'autres cas que celui qui les a fournis.

Pour l'intelligence de ce qui va suivre, je rappellerai que le système de distribution pratiqué rue Beaubourg, consiste à entretenir, au moyen de machines aspirantes, un vide de 70 0/0 environ dans une canalisation qui aboutit, par des colonnes montantes, à des moteurs à air placés chez la clientèle, où ils sont mis en mouvement par l'excès de la pression atmosphérique sur la pression de la canalisation.

Aperçu des divers procédés de transmission de force.

Tel est le principe appliqué. On nous a souvent demandé pourquoi, utilisant l'air comme agent de transmission de force, nous l'avons raréfié plutôt que comprimé. J'ai répondu à cette question dans mon Mémoire de 1885, où, après avoir passé en revue les systèmes de transmission de force motrice : câbles télédynamiques, vapeur, eau sans pression, gaz, électricité, air comprimé ou raréfié, je résumais mon opinion sur ces divers agents, mis en présence dans le cas considéré.

Ce cas, je le rappelle, n'est pas celui d'un simple transport de la force, transmise d'un point à un autre avec un rendement déterminé, sans être divisée ni distribuée sur le parcours de la transmission.

C'est celui de la division de l'énergie en petites fractions, et de sa distribution dans les rues et les maisons avoisinant un centre de production, car il s'agit de fournir la petite force dont ils ont besoin dans leur chambre aux petits fabricants et industriels travaillant chez eux. Il fallait donc avoir recours à un agent qui comportât, outre le transport de l'énergie, sa division en parcelles et qui se prêtât à cette distribution fractionnelle.

Les câbles télédynamiques y sont évidemment impropres; la vapeur d'eau essayée à New-York n'a pas eu grand succès; l'eau sans pression ne peut être employée à Paris où elle n'est fournie ni en assez grande quantité ni en pression assez élevée ; les moteurs à gaz, qui résolvent en un sens la question, présentent dans les étroits logements des travailleurs en chambre

des inconvénients graves au point de vue de la sécurité, de la commodité et de l'hygiène ; restent donc l'air et l'électricité.

Mais si cette dernière, on peut le dire, opère des merveilles, elle est, par compensation, d'un maniement délicat et parfois dangereux : les conducteurs et les courants à haute tension peuvent devenir un danger ; et les petits moteurs électriques à placer chez les ouvriers ne peuvent être abandonnés aux mains de tout le monde sans qu'il y ait parfois du péril, souvent des détériorations et des mises hors d'état de fonctionner plus ou moins longues.

L'électricité, disais-je donc, sera bientôt, on peut l'espérer, l'agent par excellence du transport de grandes forces à de grandes distances : mais pour le transport de petites forces à de petites distances il est préférable d'avoir recours tout bonnement à l'air atmosphérique, comprimé ou raréfié. L'air comprimé a son emploi tout indiqué quand il s'agit d'une force moyenne à transmettre tout entière en un point donné ou en quelques points sans division trop multiple, par exemple, pour actionner les perforatrices des galeries de mines ou de tunnels; mais pour la distribution à domicile d'un grand nombre de petites forces dans un rayon peu étendu, il est plus simple, plus commode et plus économique d'avoir recours à l'air raréfié.

Ces conclusions ont été discutées par divers Ingénieurs de grand mérite. M. Mékarski, qui est le vaillant champion de l'air comprimé, les a mises en doute ; mais nous avons eu la bonne fortune de les voir appuyées par d'autres Ingénieurs également autorisés et notamment par M. Piarron de Mondesir, un de nos collègues les plus estimés, que la Société a eu le regret de perdre tout récemment.

Cet Ingénieur, dans une communication savante faite ici il y a trois ans, a bien voulu reconnaître, après étude, que rien n'est plus simple et plus pratique que le système de l'air raréfié lequel, outre sa simplicité, comporte, dit-il, un grand avantage sur tous les autres en ce qu'il est hygiénique, puisque il renouvelle l'air de la chambre de travail. Cet avantage n'est pas à dédaigner dans les quartiers populeux où l'agglomération ouvrière est considérable et où les logements sont, en général, malsains et étroits.

Bien qu'il se fût occupé jusqu'alors tout spécialement de l'air comprimé, au point de vue théorique et au point de vue de ses diverses applications, M. Piarron de Mondesir n'hésita pas à confesser que l'air comprimé ne peut être avantageux que dans le

cas où l'on a besoin d'une force motrice assez considérable et que pour les petites forces motrices nécessaires à l'industrie en chambre, il est préférable d'employer l'air raréfié. (*Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils*, novembre 1885.)

Je n'entrerai pas dans la discussion théorique et dans les calculs que M. Piarron de Mondesir nous a présentés pour montrer que le rendement du système de l'air raréfié est supérieur à celui du système de l'air comprimé. J'avais énoncé qu'il est de près du double et donné les chiffres de 40 à 43 0/0 de rendement pour l'air raréfié dans les conditions où l'air comprimé ne donne que 18 à 22 0/0. L'expérience nous a permis de vérifier qu'en ce qui concerne notre système ces chiffres sont très rapprochés de la réalité.

Perfectionnements réalisés à l'usine centrale.

Quoi qu'il en soit, passons à l'examen des modifications qui font l'objet de cette étude et rappelons que l'ensemble des installations de la rue Beaubourg comporte trois parties principales : l'usine centrale de production de force, avec ses machines aspirantes et leurs accessoires ; la canalisation, avec ses réservoirs, ses conduites maîtresses et secondaires ; les machines réceptrices, ou moteurs à air placés chez les abonnés.

Garniture des pistons des machines aspirantes. — A l'usine centrale, les machines aspirantes sont des machines à vapeur horizontales du système Corliss, dans lesquelles le cylindre à vapeur est suivi d'un cylindre à air. Ce dernier, que j'ai décrit en 1885, était pourvu alors d'un piston avec garnitures en caoutchouc. Or le caoutchouc, en frottant sur les parois du cylindre, s'usait assez vite et formait de petites parcelles qui venaient se fixer contre les barreaux des grilles servant de siège aux clapets d'aspiration. D'autre part, les poussières aspirées se collaient contre ces parcelles amollies par la chaleur. Le tout formait une croûte spongieuse qui obstruait le passage de l'air ; enfin, et c'était là le plus grand inconvénient, les garnitures amincies laissaient s'établir une communication entre les deux faces du piston.

Ces diverses causes amenaient une diminution sensible dans les effets de l'aspiration. Pour y remédier, on a tout d'abord agrandi, autant que cela a été possible, les ouvertures des grilles servant de siège aux clapets. Puis l'on a substitué au piston avec garniture en caoutchouc un piston à segments en bronze.

Depuis cette substitution les inconvénients que je viens d'indiquer ont presque entièrement disparu et le rendement des machines aspirantes s'est amélioré.

Vous trouverez, dans le mémoire, le détail d'essais faits et de diagrammes relevés sur deux machines dont l'une était pourvue d'un piston à garnitures en caoutchouc et l'autre d'un piston à segments en bronze. L'amélioration de rendement produite par la substitution opérée est d'environ 20 0/0. Elle est due surtout à la suppression de la communication entre les deux faces du piston. Quant aux dépôts qui se collent sur les soupapes, ils ont diminué, mais existent encore : ceux qui restent sont dus aux poussières aspirées dans les conduites et mélangées à l'eau d'injection : il n'y a d'autre moyen pour les rendre inoffensives que de nettoyer les grilles des clapets deux ou trois fois par an pendant les arrêts des dimanches et fêtes.

On ne voit guère, en effet, comment on pourrait aspirer l'air venant des logements-ateliers, où il est toujours plus ou moins chargé de poussières, sans aspirer en même temps un peu de ces poussières ; et c'est là une des raisons qui nous font préférer, comme machines aspirantes, les pompes à soupapes aux pompes à tiroir.

Pompes à soupapes, pompes à tiroir. — Nous avons été amenés à examiner de nouveau cette question avec M. Garant, ingénieur de la maison Brasseur, de Lille, d'où viennent nos machines, après en avoir été saisis par une brochure de M. Weiss, ingénieur à Bâle (Suisse), que l'auteur nous a adressée et dont une traduction nous a été, presque en même temps, envoyée par M. Alfred Pache, ingénieur à Dornach (Alsace).

Nous sommes d'accord avec M. Weiss sur ces deux points : que le rendement des pompes à air est notablement diminué par l'influence des espaces nuisibles, et qu'il n'est pas possible d'admettre une marche rapide pour les machines à soupapes.

M. Weiss ajoute qu'avec les pompes à tiroir mobile commandé mécaniquement, que M. Burckhardt et lui construisent à Bâle, on peut obtenir une marche plus rapide et une diminution de l'influence de l'espace nuisible, au moyen d'un canal ménagé dans la coquille du tiroir.

Pour la marche plus rapide, je la concède ; seulement pour l'espace nuisible, si vous en avez diminué la capacité, vous en

avez multiplié l'action en augmentant la vitesse, c'est-à-dire le nombre des coups de piston ; y a-t-il avantage ? je ne sais.

Mais ce qui ne me paraît pas douteux dans le cas où nous nous trouvons rue Beaubourg, cas qui n'est pas, je le reconnais, celui où se trouvent la plupart des compresseurs ou pompes à vide des souffleries Bessemer, sucreries et autres ; ce qui, dis-je, ne me paraît pas douteux dans notre cas, c'est que les poussières aspirées viendraient se fixer sur le tiroir, dans ses canaux et sur sa glace ; et je craindrais non seulement une perte d'aspiration, mais des grippements, par suite un fonctionnement mauvais, difficile, une usure très rapide, ce qui constituerait un inconvénient plus fâcheux que celui que j'ai signalé avec les soupapes.

Nous ne sommes pas non plus de l'avis de M. Weiss en ce qui concerne les moyens à employer pour refroidir l'air pendant sa compression.

M. Weiss nous dit qu'il reste opposé, en principe, à toute introduction d'eau dans le cylindre et qu'il s'en tient au rafraîchissement par surfaces extérieures.

Pour nous, nous pensons que ce dernier procédé est insuffisant, qu'il ne refroidit pas la masse entière du fluide mais seulement la partie qui lèche les parois du cylindre et qu'enfin il ne procure, même dans ce voisinage des parois, qu'un abaissement de température insignifiant, à moins que l'on ne dépense une énorme quantité d'eau.

C'est du reste ce que reconnaît M. Weiss lui même lorsqu'il dit que le « degré de refroidissement dépend surtout de la quantité d'eau employée et non du parcours qu'on lui fait suivre autour du cylindre. »

Si l'on ajoute à cela que ce procédé de refroidissement exige des enveloppes dont la capacité s'ajoute à celle du cylindre aspirant qui, dans le cas de l'air raréfié, est déjà assez volumineux par lui même, on comprendra notre préférence pour l'injection d'eau.

M. Weiss combat encore l'introduction d'eau dans les cylindres pour ce motif : qu'elle ne peut servir au graissage, qu'on est obligé d'y ajouter de l'huile, et qu'alors on obtient des résidus qui raient et usent rapidement le cylindre et sa garniture, amenant ainsi une grande diminution de rendement.

Nous avons constaté ce fait lorsque nous employions des garnitures en caoutchouc ; mais, depuis que nous leur avons substitué des segments en bronze, cet inconvénient a disparu. Nous ne mélangeons d'ailleurs pas d'huile avec l'eau d'injection ; de temps à

autre un peu d'eau de savon est ajoutée à l'eau ordinaire; et le lubrifiage semble être ainsi suffisamment assuré en même temps que le refroidissement de l'air comprimé.

En résumé, nous croyons devoir nous en tenir aux cylindres aspirants à soupapes, avec injection d'eau à l'état pulvérisé, c'est-à-dire en somme aux pompes demi-mouillées; et nous admettons que, pour bien fonctionner et donner un bon rendement, les pompes à vide doivent marcher lentement.

Ces observations mises à part, nous sommes d'accord avec M. Weiss sur les considérations pleines de justesse, sur les développements et les calculs très intéressants contenus dans sa brochure qui est encore intéressante au point de vue des essais qu'elle signale et des diagrammes nombreux qu'elle renferme.

Perfectionnements réalisés dans l'exploitation.

Je passe maintenant, en reprenant l'étude du mémoire de M. Daujat, aux perfectionnements et aux appareils nouveaux qu'il décrit et qui se rapportent à la canalisation.

Constance du vide. — Aux débuts de l'exploitation, on se préoccupait de maintenir constant le degré de vide obtenu dans les réservoirs d'air placés entre la canalisation proprement dite et les machines aspirantes, c'est-à-dire en somme le vide à l'usine; et l'on atteignait ce but, malgré les variations de travail chez les abonnés, au moyen de régulateurs spéciaux que j'ai décrits en 1885.

Mais à mesure que le nombre des clients a augmenté et aussi la longueur de la canalisation, on s'est aperçu que, malgré la constance de la pression à l'usine, le vide baissait d'une quantité assez sensible dans les points les plus éloignés du centre, principalement aux heures du jour où le travail des abonnés atteint son maximum.

C'est qu'en effet: plus l'on travaille dans la clientèle, plus l'on consomme d'air; plus il faut en aspirer; plus la vitesse de cet air augmente dans les conduites; par suite plus il y a de pertes de charge, c'est-à-dire plus la différence est grande entre le vide maintenu à l'usine et le vide, toujours un peu plus faible, obtenu aux extrémités de la canalisation.

Pour que les moteurs placés en ces derniers points donnent la force qu'on leur demande normalement, il y a donc lieu de maintenir constant, non pas le vide à l'usine, mais le vide aux extrémités des conduites; et pour cela il faut augmenter progressivement

le degré de vide à l'usine, afin de compenser l'accroissement des pertes de charge, à mesure qu'augmente le travail des abonnés, et par suite le nombre de tours des machines aspirantes.

Manomètre de vide avertisseur. — Afin d'arriver à ce résultat, en suivant une marche réglée pour ainsi dire automatiquement, on a imaginé un appareil appelé *Manomètre de vide avertisseur*, dont vous trouverez la description détaillée dans le mémoire mais dont je me contenterai de vous indiquer le principe.

On a constaté, d'une façon empirique, quels sont les degrés de vide nécessaire à l'usine pour que, au bout de la canalisation, les machines fonctionnent bien, aux différentes heures qui, assez régulièrement chaque jour, correspondent aux différentes phases du travail : *maxima, grande, moyenne, petite, minima.*

Un secteur gradué d'après ces indications porte une aiguille que l'on fixe au moment considéré sur la division convenable. A cette aiguille en est liée une autre, à deux bras, qui se meut sur un manomètre ordinaire, et dont les deux bras doivent toujours, pour une bonne marche, comprendre entre eux l'aiguille du manomètre.

Dès que le travail augmente ou diminue notablement chez les abonnés, l'aiguille du manomètre vient toucher l'un des deux bras ; un contact électrique s'établit et une sonnerie prévient le mécanicien qu'il y a lieu de passer d'une phase du travail à une autre, et de régler la marche des machines en conséquence. Il le fait aussitôt, soit en manœuvrant lui-même les régulateurs spéciaux dont j'ai parlé et dont l'action automatique, pour accélérer ou retarder la marche des machines, n'est efficace que dans des limites restreintes, soit en mettant la deuxième ou la troisième machine en mouvement ou au repos.

Totalisateur-enregistreur de tours. — Un autre appareil que nous appelons *totalisateur-enregistreur de tours* des machines aspirantes a été imaginé dans le but de connaître d'une façon précise, jour par jour et même heure par heure, les variations de vitesse des machines et par suite celles du travail chez la clientèle, et aussi pour connaître le nombre total de tours faits chaque mois par les trois machines, c'est-à-dire en somme le travail effectué pour produire la force, afin de le mettre en regard des recettes mensuelles, c'est-à-dire en somme du travail utilisé et payé par les abonnés.

Cet appareil, décrit plus complètement dans le mémoire, comporte trois parties principales : la transmission, qui se compose

d'arbres, de roues d'engrenages et de roues d'angles ; le totalisateur, constitué par un compteur de tours ordinaire ; enfin l'enregistreur, qui comprend : un régulateur à force centrifuge actionnant un petit style, et un rouleau mû par un mouvement d'horlogerie sur lequel le style trace la courbe des mouvements imprimés par le régulateur.

Ce sont les indications du totalisateur-enregistreur qui, en rendant compte des variations du travail des abonnés, ont permis d'assurer le bon fonctionnement du manomètre de vide avertisseur dont il a été question plus haut.

Le totalisateur-enregistreur de tours, le manomètre de vide avertisseur, puis les indicateurs de vide et les pneumographes placés, les uns dans l'usine, les autres en divers points de la canalisation inégalement éloignés de l'usine, constituent un ensemble d'appareils de contrôle et de surveillance, dont l'emploi a été reconnu très utile pour assurer la bonne marche d'une exploitation économique.

A la suite de ces descriptions d'appareils, le mémoire rend compte d'un phénomène qui surprit tout d'abord et qui se produisit à l'époque où l'on commença à employer simultanément les trois machines aspirantes.

Au bout de quelques jours, le vide, lors de la mise en marche, se faisait très difficilement et avec un grand retard dans les parties les plus éloignées de l'usine ; et, chose tout à fait surprenante et anormale dans le système de l'air raréfié, on constatait des dépôts d'eau dans la partie basse de la canalisation.

Je dis chose surprenante et anormale, parce que chacun sait que l'eau se vaporise dans le vide, et se rappelle l'expérience qu'on fait dans les cours de physique avec une soucoupe pleine d'eau placée sous la cloche de la machine pneumatique. Papin, ce grand précurseur de la machine à vapeur, dont le génie a mis sur la voie de tant d'inventions diverses, et à qui remonte l'idée de la transmission pneumatique de la force, idée qui n'est pas nouvelle comme on voit, Papin, dans une brochure publiée il y a deux siècles, (1694), recommandait l'emploi du vide pour transmettre la force, donnait des détails sur les tubes de transmission et faisait remarquer qu'ils ne contiendraient jamais d'eau.

Nous n'étions donc pas sans raison étonnés d'en trouver une assez grande quantité dans notre canalisation. La présence de l'eau était anormale ; mais elle n'était pas moins gênante. D'où prove-

nait-elle, et comment s'en débarrasser ou mieux encore la prévenir ?

Après quelques recherches, on fut conduit à penser que cette eau provenait des injections faites dans les cylindres aspirants : mais comment expliquer que cette eau d'injection se répandait dans les conduites et spécialement dans les réservoirs d'air placés au début de la canalisation ? Voici la cause à laquelle on crut devoir l'attribuer.

Le travail de la clientèle passant par un minimum à la fin de la journée, deux machines suffisent pour produire le vide convenable. On arrêtait donc la troisième machine deux heures avant l'arrêt complet de l'usine. Le cylindre de la machine arrêtée restait en communication avec la canalisation ; et le vide continuait à se produire dans ce cylindre, si bien que l'eau d'injection était aspirée et passait par les clapets dans les réservoirs d'air et de là dans les conduites. Cette eau séjournait alors pendant l'arrêt dans les parties basses et obstruait de plus en plus le passage de l'air. A la mise en marche, le vide ne pouvait donc s'établir dans la canalisation que lorsqu'une certaine quantité de l'eau déposée avait été aspirée.

La cause du mal connue, on y remédie par une manœuvre fort simple. Lors de l'arrêt d'une des machines, on ferme par une vanne la communication entre son cylindre à air et la canalisation ; puis on ouvre un robinet qui permet à l'air ambiant de s'introduire dans la capacité du cylindre et de la ramener à la pression atmosphérique.

La vanne reste fermée jusqu'au moment où il y a lieu de remettre en marche la machine arrêtée, de sorte que celle-ci reste parfaitement isolée.

De plus des robinets purgeurs ont été placés sur les parties basses des conduites et permettraient, en cas de besoin, de faire écouler l'eau qui y séjournerait.

Mais, et cela prouve que l'origine de l'eau trouvée dans les conduites était bien celle qu'on supposait, depuis que l'on a pris les précautions ci-dessus indiquées, on n'a plus jamais constaté de dépôts d'eau en ouvrant les purgeurs.

Pertes de charge. — L'étude des questions relatives à la canalisation traitées dans le Mémoire se termine par le calcul des pertes de charge.

Ce point, ainsi que l'auteur le fait justement remarquer, est un

des plus importants et de ceux auxquels on doit donner le plus d'attention, quand on veut établir une canalisation donnant passage à un liquide ou à un fluide quelconque.

Sans entrer dans le détail des calculs contenus dans le Mémoire, j'en citerai ici le résultat.

L'expérience a vérifié l'exactitude approchée de la formule de Stockalper : $J = \alpha Q^2 \delta$,

dans laquelle :

J représente la perte de charge par mètre courant, exprimée par une hauteur d'eau en mètres ;

Q représente le volume écoulé par seconde, exprimé en mètres cubes ;

δ est le poids du mètre cube d'air (densité de l'air dans la conduite) ;

α est un coefficient dont les valeurs ont été calculées pour des diamètres variant de centimètre en centimètre, et qu'il est bon de doubler dans la pratique.

Cette formule, appliquée au réseau de 3,600 *m* environ, qui constitue la canalisation actuelle de l'usine de la rue Beaubourg, indique que la perte de charge totale est de 9 1/2 0/0. C'est, à très peu près, le résultat que fournit l'examen journalier des pneumographes placés en divers points des conduites.

Perfectionnements réalisés dans les machines réceptrices.

Passant enfin à la troisième et dernière partie de l'ensemble des installations que comporte la distribution de la force, M. Daujat décrit, dans son Mémoire, avec le plus grand détail, le moteur à air raréfié dit *Moteur à fourreau* qui constitue la machine réceptrice placée chez chaque abonné.

Il rappelle qu'au début de l'exploitation, on a essayé trois espèces de moteurs : les moteurs oscillants, les moteurs rotatifs et les moteurs à fourreau.

On fut rapidement conduit à abandonner les deux premiers types et à s'en tenir au troisième. Au point de vue de la force qu'ils peuvent donner, les moteurs sont rangés en trois catégories, savoir :

Ceux dits de 100 *kgmts* qui peuvent donner jusqu'à 120 *kgmts*, c'est-à-dire plus d'un cheval et demi ;

Ceux dits de 50 *kgmts* qui peuvent donner jusqu'à près d'un cheval ;

Ceux dits de 25 *kgmts* qui peuvent donner jusqu'à près d'un demi-cheval.

En somme, les moteurs sont donc d'un demi-cheval, d'un cheval et d'un cheval et demi.

Avec ces trois catégories, l'on peut satisfaire à tous les besoins de la clientèle qui s'échelonnent de 10 ou 15 *kgmts* jusqu'à un cheval et demi, et même jusqu'à trois chevaux. C'est ainsi que chez quelques clients on a des installations de près de trois chevaux obtenues en accouplant deux moteurs d'un cheval et demi.

Multiplier davantage les catégories de moteurs, comme on en avait eu un instant la pensée, présenterait des inconvénients dans la pratique de l'exploitation.

Moteurs à fourreau. — L'on trouvera, dans le Mémoire, avec la description complète du moteur à fourreau, les dessins propres à éclairer le texte.

Ici je dirai seulement que l'appareil comporte, indépendamment des organes d'admission et d'échappement, trois pièces principales : le *bâti*, le *cylindre* et le *piston-fourreau.*

Le *bâti* est divisé en deux chambres, dont l'une est un petit réservoir d'air raréfié ; l'autre admet l'air ambiant. Des canaux mettent ces chambres en communication tantôt avec la partie supérieure tantôt avec la partie inférieure de l'anneau cylindrique.

La partie centrale du *cylindre* est occupée par le *piston-fourreau* sur les bords duquel s'exerce la pression, dans la partie annulaire.

Le fourreau supérieur contient la bielle ; le couvercle du cylindre porte deux supports qui reçoivent l'arbre et son volant.

Un régulateur à force centrifuge ouvre plus ou moins la conduite d'entrée de l'air et règle le moteur à un nombre de tours déterminé suivant les cas.

Dans ces conditions, la pression dans les conduites étant constante, le travail fourni par le moteur en marche est proportionnel au nombre de tours.

Chaque moteur porte un compteur de tours qui peut compter jusqu'à dix millions et qu'on relève tous les dix jours pour établir la recette à percevoir pour location de force : on ne fait ainsi payer à l'abonné que la force qu'il a réellement dépensée.

Essais au frein, par diagrammes, à l'anémomètre. — Après la description des moteurs vient l'exposé d'un certain nombre d'essais auxquels sont soumises les machines réceptrices, lorsqu'elles ont

été livrées à l'usine par les constructeurs et avant qu'elles soient remises entre les mains des clients.

Ces essais consistent dans l'application du frein de Prony, d'une part, et d'autre part dans le relevé de diagrammes pris dans le cylindre des moteurs. On établit ainsi un rapport qui constitue, en somme, le rendement organique ou matériel du moteur. De plus, des relevés à l'anémomètre permettent de connaitre la consommation d'air.

L'anémomètre est un tube cylindrique de 0,10 *m* de diamètre, portant à l'un de ses orifices un axe sur lequel tourne une roue à ailettes. Par l'autre orifice l'appareil est relié à la prise d'air du moteur, de sorte que, pendant la marche, tout l'air aspiré qui traverse le moteur passe d'abord dans le tube et fait tourner la roue à ailettes. Cette roue, au moyen d'un pignon d'engrenage, met en mouvement un compteur qui indique la vitesse en mètres par minute. Comme on connait les sections du tube, il est facile dès lors d'en déduire le volume d'air entré, c'est-à-dire la consommation d'air par minute.

Voici les résultats d'expériences faites sur un moteur à fourneau d'une force de 50 *kgm*.

DÉSIGNATION	NOMBRE DE TOURS par minute	PRESSION MOYENNE	CONSOMMATION D'AIR par minute	FORCE INDIQUÉE au diagramme	FORCE INDIQUÉE au frein	RENDEMENT ORGANIQUE
		atmos.	litres	kgmts.	kgmts.	
MARCHE à vide.	140	0,144	4	26 1/3	»	»
MARCHE en faible charge.	134	0,282	7	49 1/2	33,58	68 0/0
MARCHE en charge moyenne	125	0,414	11	67 2/3	54,86	81 0/0
MARCHE en pleine charge.	115	0,540	16	81,25	72,06	88 0/0

On soumet généralement chaque moteur à une série d'essais analogues, à vide, et aux différentes vitesses correspondant aux régimes de travail auxquels sera soumis le moteur.

Les résultats obtenus ont été trouvés à peu près les mêmes pour tous les moteurs de même catégorie. On a ainsi constaté que

les machines à air donnent un meilleur rendement lorsqu'elles marchent en pleine charge que lorsqu'elles fonctionnent sous charge faible; en outre, on a reconnu que le rendement organique obtenu est aussi bon que possible (68 0/0, 81 0/0, 88 0/0), supérieur même à ce qu'on avait espéré. Ce résultat montre que les dispositions adoptées pour la machine ont été bien conçues et fait honneur à ses constructeurs MM. Sarallier et Pradel. Le mécanisme en est soigné, et pourtant tous les organes sont robustes, et le moteur est facile à conduire à toutes les allures.

Telles sont les conditions dans lesquelles fonctionne aujourd'hui, à la grande satisfaction des ouvriers en chambre et dcs petits industriels qui s'y sont abonnés, la distribution de la force motrice à domicile au moyen de l'air raréfié.

Résultats obtenus. — Extension.

Les progrès que l'exploitation de ce système a réalisés ont été faits lentement; ils auraient été sans doute plus rapides et plus brillants sans le malaise dont souffrent depuis longtemps déjà tous nos industriels en général et en particulier les représentants de la petite industrie parisienne, de l'article de Paris, parmi lesquels cette entreprise doit surtout recruter ses clients. Cependant elle a fait son chemin et reçu de nombreux encouragements non seulement dans la petite industrie qui lui a fourni des abonnés et des participants, mais aussi dans le monde technique et industriel en même temps que chez tous ceux qui, soit isolément soit collectivement, s'intéressent aux questions touchant, de près ou de loin, au sort et au bien-être des travailleurs, en un mot à l'amélioration des conditions du travail dans la classe ouvrière.

C'est ainsi que depuis trois ans nous avons été successivement honorés de la visite des élèves de l'École Centrale et de l'École des mines conduits par un de leurs professeurs, puis des membres de la Société d'Encouragement, ensuite des membres des Unions Sociales et de la Société d'Économie sociale, enfin d'un grand nombre d'ingénieurs de la France et de l'Étranger, et que nous avons obtenu, à l'un des derniers concours ouverts par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, le prix décerné pour un petit motcur destiné à un atelier de famille, fonctionnant isolément ou rattaché à une usine centrale.

Les conditions auxquelles devait satisfaire le moteur prenant

part au concours sont intéressantes à rappeler, et le programme où elles sont énoncées signale « l'avantage qu'il y aurait pour le » petit fabricant en chambre à se procurer, commodément et à » bon marché, toutes les fois qu'il en aurait besoin, la petite » quantité de travail pour laquelle il a ordinairement recours à la » pédale ou à l'assistance momentanée d'un tourneur de roues. »

» La solution de cette question, ajoute-t-on, aurait pour consé» quence de favoriser le travail en famille dans les villes et de » maintenir les enfants sous les yeux de leurs parents, la fille » sous la surveillance de la mère. »

C'est bien là le résultat que nous avons obtenu par la distribution de force que nous avons établie dans le quartier de la rue Beaubourg et des rues avoisinantes.

Nous espérons pouvoir bientôt faire participer aux avantages d'une pareille distribution de force motrice d'autres quartiers ouvriers de Paris et y établir de nouveaux centres de distribution. Nous espérons aussi ne pas limiter dans l'intérieur de la capitale seule l'extension de notre système.

J'ai cité tout à l'heure, en passant, de petites industries analogues à la petite industrie parisienne au point de vue des forces qu'elles nécessitent, et qui sont répandues à Lyon, Grenoble et Saint-Étienne.

Déjà, à plusieurs reprises, des ingénieurs, des négociants, des membres des Chambres de commerce, des représentants des conseils municipaux, venus de ces diverses villes, ont fait la visite de notre établissement et en ont emporté la meilleure impression.

Mais jusqu'à ces temps derniers, pour une raison ou pour une autre, ainsi qu'il est facile de le comprendre si l'on songe combien il est difficile d'entraîner ses concitoyens dans une voie nouvelle, il n'avait pas été donné suite aux projets qu'avait pu suggérer à quelques esprits généreux l'exemple qu'ils avaient sous les yeux à Paris.

Aujourd'hui, il est permis d'espérer que la ville de Saint-Étienne, grâce à l'initiative de son maire, plein de zèle et de dévouement pour les intérêts de la population ouvrière, pourra bénéficier prochainement des avantages d'une distribution de force motrice et que cette innovation profitera à la fabrication stéphanoise du ruban, du galon et de la passementerie.

Ce n'est pas être indiscret que de le dire ici, puisque un grand journal de Paris l'a annoncé et que la plupart des journaux de la région l'ont répété, la municipalité stéphanoise, voulant utiliser

les forces motrices que laissent libres les chutes successives de l'amenée d'eau du barrage de Rochetaillée à la ville et ne pouvant s'en servir pour l'éclairage public à cause des traités conclus avec la C[ie] du gaz, a décidé de les emmaganiser et de les faire distribuer à l'industrie locale.

Les passementiers (c'est ainsi qu'on désigne l'ouvrier de Saint-Étienne quelle que soit sa spécialité : ruban, galon ou passementerie proprement dite) travaille toujours chez lui ; ses bras sont le moteur de son métier, ce qui ne va pas sans des efforts physiques dangereux pour la santé, sans des moments de lassitude funeste à la production. Plus d'un a dû recourir au moteur à gaz. Mais le prix élevé de cet appareil, sa dépense quotidienne, les avances que son acquisition exige constituent de bien lourdes charges pour des ouvriers, surtout dans la situation peu florissante où se trouvent les affaires. Il y aurait donc pour eux de grands avantages à retirer d'une distribution de force analogue à celle du quartier Sainte-Avoie.

C'est ce qui a été compris par la municipalité ; et à la suite d'une visite que M. le maire de Saint-Étienne a faite à l'usine de la rue Beaubourg et chez quelques-uns de ses abonnés. M. Petit a été appelé à étudier la question sur place et nous avons été chargés de préparer un projet qui sera prochainement soumis à la municipalité stéphanoise.

Si nous réussissons à doter des bienfaits de la distribution de force les dix-huit mille métiers que l'industrie de Saint-Étienne met en mouvement, on peut espérer que cet exemple sera suivi dans l'industrie du tissage à Lyon, dans celle de la ganterie à Grenoble, et en général dans toutes les industries où l'ouvrier peut travailler auprès de son foyer en dehors des agglomérations malsaines et des contacts démoralisateurs.

Distribution d'éclairage électrique.

Je ne serais pas complet, Messieurs, dans l'exposé que je présente à la Société des développements acquis et espérés de l'entreprise réalisée dans l'usine de la rue Beaubourg, si je ne vous disais quelques mots, en terminant, de la distribution d'éclairage électrique qui s'y juxtapose depuis quelque temps à celle de la force.

Dès les premiers jours, nous avons pensé à organiser un service d'éclairage électrique et j'ai fait mention de ce projet dans mon

mémoire de 1885. Mais je dois dire que nous avons été conduits à modifier les procédés d'application auxquels nous avions songé tout d'abord, et quelques explications en feront brièvement comprendre la raison.

Ce qui n'a pas changé, c'est le principe que nous voulions mettre en œuvre et qui consiste à faire travailler le plus possible, la nuit comme le jour, nos appareils de production de force ou tout au moins de vapeur.

Rien de plus naturel d'ailleurs et surtout rien de plus logique, et qui *a priori* paraisse plus avantageux, que de fondre, pour ainsi dire, deux usines en une seule, et de pratiquer deux exploitations qui, ayant des parties communes, ne nécessitent presque pas, pour leur ensemble, plus de frais généraux que pour une seule d'entre elles, et permettent, en outre, d'augmenter le rapport du total des recettes au total des frais d'exploitation proprement dits.

Dans cet ordre d'idées il y avait lieu de nous entendre avec un des nombreux Ingénieurs électriciens qui nous sollicitaient de combiner nos efforts avec les leurs pour faire chez les particuliers de notre voisinage des installations d'éclairage électrique.

Le premier essai qu'il nous vint à l'esprit de tenter fut l'utilisation, à cet effet, de nos moteurs à air, déjà installés chez nos clients pour produire la force, de manière à leur faire actionner le soir de petites machines dynamo alimentant des lampes.

Quelques uns de nos abonnés, du reste, employaient déjà nos moteurs à air pour actionner des petites machines électriques destinées à produire le courant nécessaire à la galvanoplastie.

Mais nous avons bientôt reconnu que la clientèle de la force motrice n'est pas du tout la même que celle de la lumière électrique et que dès lors pour chaque installation d'éclairage il faudrait placer tout exprès chez le client à la fois une dynamo avec ses accessoires et un moteur à air qui marcherait spécialement pour actionner cette dynamo.

Dans ces conditions, les devis établis pour les installations électriques et aussi les prix comprenant la location de la force et de la lumière donnaient des chiffres trop élevés et l'application ainsi entendue du principe à mettre en œuvre n'était pas praticable.

Nous avons donc été amenés à rechercher des électriciens, qui installeraient chez nous une machine à vapeur actionnant des dynamos, qui feraient la distribution de l'éclairage électrique au moyen de câbles comme cela se pratique ordinairement, et qui

nous loueraient simplement l'emplacement de leurs machines et la force que nous leur livrerions sous forme de vapeur.

De cette façon, nous restions bien dans le programme que nous nous étions proposé et qui consiste à être des vendeurs de force à des électriciens et non des électriciens nous-mêmes.

Ces derniers sont alors pour nous des abonnés comme ceux que nous avons déjà et n'en diffèrent qu'en ce que nous leur livrons la force sous forme de vapeur et non sous forme d'air raréfié.

Nous n'eûmes pas loin à chercher pour trouver cet abonné. Dans un local, contigu au nôtre, s'était établi un électricien, M. de Banville, qui avait organisé dans notre quartier une distribution d'éclairage analogue à celle de la cité Bergère, de qui nous recevons précisément cette belle lumière qui nous éclaire ce soir. Cette distribution fonctionnait à l'aide d'une locomobile et de dynamos assez imparfaits, que les successeurs de M. de Banville, qui s'était retiré au bout de quelques mois, ne voulurent pas reprendre; et ces successeurs s'abouchèrent avec nous dans les conditions que j'ai indiquées plus haut.

A côté des trois machines aspirantes qui occupent les trois premières travées de notre salle des machines, MM. Tschieret et Fuchs ont établi, dans la quatrième travée restée libre, une machine à vapeur horizontale du système Corliss, d'une force de 110 chevaux, capable d'actionner deux dynamos Gramme de 370 ampères et 110 volts.

Cette installation s'est faite dans un espace très restreint et sans interrompre un seul jour la marche des machines voisines, et il est intéressant de se rendre compte sur place des nombreuses difficultés que l'on a eu à vaincre pour accumuler, dans un même endroit fort resserré, une machine à vapeur, deux machines électriques, les organes importants de la transmission : arbres, poulies et courroies, puis les tableaux de distribution et les appareils électriques accessoires.

La transmission est placée dans la partie la plus basse de l'usine, c'est-à-dire immédiatement sur le conduit de fumée, lequel est en contre-bas du sol des machines d'environ 4,50 *m* : on a pu ainsi obtenir des longueurs de courroies suffisantes malgré le peu d'espace dont on disposait en plan.

Cette transmission se compose d'un arbre de 0,15 *m* de diamètre supporté par trois paliers assis sur des pierres de taille : cet arbre reçoit trois poulies dont l'une de 2 *m* de diamètre est la poulie de commande; les deux autres de 2,50 *m* actionnent les dynamos.

Les courroies sont larges et fortes, en coton. On a employé cette matière parce que la température du local est élevée et qu'on a pensé que le coton s'altèrerait moins à la chaleur. Comme il faut en outre que les courroies soient inextensibles, on a pensé que le coton répondrait à cette condition; il s'allonge bien au début, mais bientôt après devient inextensible.

La machine à vapeur était à condensation, l'eau nécessaire est fournie par une petite pompe Wortinghton, installée dans un des deux puits que possédait déjà l'usine, mais aspirant l'eau dans un forage spécial.

Les travaux, en ce qui concerne la machine à vapeur et ses accessoires, ont été conduits avec la plus grande habileté par M. Petit, directeur de l'usine de la rue Beaubourg. L'installation de l'appareillage électrique a été faite par M. Tschieret qui dirige le service de l'éclairage.

Le matériel électrique complet a été fourni par MM. Tschieret et Fuchs, constructeurs à Puteaux. Il comprend deux machines Gramme, dont l'une fonctionne depuis plus d'un mois. Ce sont des machines à courant continu, auto-excitatrices et à double enroulement. Chacune d'elles peut alimenter 800 lampes de 10 bougies.

Le tableau de distribution et la canalisation sont disposés pour une distribution à 200 volts et à 3 conducteurs. Actuellement la canalisation est formée de 4 boucles à 2 conducteurs chacune qui sont reliées en quantité au tableau de distribution. Pour passer à la disposition à trois conducteurs on réunira les conducteurs de même pôle de chaque boucle à la borne intermédiaire du tableau de distribution, qui sera elle-même reliée au conducteur réunissant les deux dynamos, lesquelles seront alors accouplées en tension.

Un volt-mètre enregistreur, un ampère-mètre enregistreur, des enregistreurs de vitesse et autres appareils permettent de contrôler la marche du service.

L'aiguille du volt-mètre est reliée à une trompette du capitaine Zigang qui avertit le mécanicien de l'augmentation ou de la diminution de la force électro-motrice du courant et lui indique s'il doit augmenter ou diminuer la résistance du courant d'excitation de la dynamo. La même disposition indique l'augmentation ou la diminution de vitesse de la machine à vapeur.

Les courants de chaque installation d'abonné sont pris en dérivation sur les conducteurs. Les lampes des abonnés fonctionnent en dérivation à une tension qui varie de 103 à 110 volts; cepen-

dant, quelques installations sont faites en tension avec des lampes de 20 à 25 volts.

Il y a actuellement cinq cents lampes environ en service; il s'en installe tous les jours et dans deux mois ou trois les douze à treize cents lampes que peut supporter la machine à vapeur seront en fonction.

Tels sont, Messieurs, les principaux détails que je voulais vous donner au sujet de ce service d'éclairage électrique. Il ne me reste plus qu'à vous remercier de la sympathique et bienveillante attention que vous m'avez prêtée et à informer les membres de notre Société que, mes collègues de l'usine et moi, nous nous mettons à la disposition de ceux d'entre eux que pourrait intéresser la visite de l'usine de la rue Beaubourg où se pratique ainsi une double distribution de force et de lumière.

CHRONIQUE

N° 110.

SOMMAIRE. — Transport des torpilleurs par chemins de fer. — Tirage par cheminée et tirage forcé. — Tunnel sous un fleuve. — Action de l'aluminium dans la fonte. — Industrie minérale et métallurgique en Russie. — Chauffage des trains de chemins de fer.

Transport des torpilleurs par chemins de fer. — La question du transport des torpilleurs par les voies ferrées a fait l'objet d'un intéressant article des lieutenants de la marine des États-Unis, W. Chambers et A. Sharp, dans les publications de l'*Office of naval intelligence* à Washington.

Ce problème a été l'objet d'une grande attention depuis quelques années dans les pays dont la configuration géographique lui donne un intérêt particulier, tels que les États-Unis, le Danemark, la France et la Russie, mais on peut dire que c'est dans ces deux derniers pays seulement qu'on a abordé le problème pratiquement sur une échelle un peu considérable. En Russie, on a transporté par canaux et chemins de fer 50 bateaux de 23 *m* de longueur, 2,75 *m* de largeur et 50 tonneaux de déplacement de la mer Baltique à la mer Noire en Août 1885.

En France on a, en Août 1887, transporté par chemins de fer de Toulon à Cherbourg un torpilleur de 33 *m* de longueur et 3,25 *m* de large, déplaçant 50 tonneaux et pesant 38 *t* lors du transport.

La question du transport des torpilleurs par voie ferrée présente un grand intérêt pour des pays qui ont une très grande étendue de côtes ou deux lignes de côte différentes; en effet :

1° On peut concentrer rapidement des forces sur un point menacé dont la présence de l'ennemi ou le mauvais temps ne permettrait pas l'accès par mer.

2° On augmente les chances de succès de l'attaque par surprise d'une force ennemie bloquant un port.

3° On peut assurer la protection de la totalité des côtes d'un pays avec une force limitée. Par exemple, il ne serait pas possible et pas désirable d'avoir un nombre suffisant de torpilleurs pour protéger le littoral entier des États-Unis, ce nombre devant être tout à fait exorbitant, mais on peut le réduire dans d'énormes proportions en recourant au transport des torpilleurs par les voies de communication intérieures telles que les canaux, rivières, chemins de fer, etc.

4° En temps de guerre, les chemins de fer offrent plus de sécurité pour le transport des torpilleurs que les rivières et les canaux ou la mer.

Ces dernières voies de communication peuvent être bloquées par les glaces, de même que la communication par mer peut être momentanément interceptée par le mauvais temps. L'Hudson, le canal de l'Érié, les canaux du Michigan et de l'Illinois ne sont pas praticables en hiver.

5° Pour de grandes distances, le transport par chemins de fer est plus rapide et moins sujet à accidents que le transport par eau. Les torpilleurs et leurs appareils moteurs sont des appareils délicats qu'il faut ménager pour le moment du combat et on ne peut pas compter réaliser des vitesses sérieuses dans des trajets de longue durée.

En 1885 on a, en France, transporté un bateau torpilleur de 33 *m* de la Manche à la Méditerranée par la Seine, le canal de Bourgogne, la Saône et le Rhône. Il a fallu des précautions excessives, la vitesse a été très faible et la conclusion a été que, si ce procédé peut être employé en cas d'absolue nécessité, ce n'est que dans ce cas qu'on doit y recourir. Il entraine en effet une gêne énorme pour le commerce, par suite de la suspension à peu près complète du trafic sur les canaux et le bateau lui-même doit être préparé pour le transport de telle sorte qu'à l'arrivée à destination, il doit subir une véritable remise en état.

6. — Un avantage important au point de vue stratégique est la possibilité de remiser des torpilleurs dans des points non exposés aux attaques de l'ennemi et d'user pour leur construction et leurs réparations des ressources que présentent les établissements particuliers dans une contrée industrielle.

Il n'y a pas de réelles difficultés à transporter par voie ferrée des torpilleurs de seconde classe, mais il ne saurait être question d'employer, sauf exception, ce mode de transport pour des torpilleurs de haute mer.

La limite est fixée par le gabarit des ouvrages d'art, notamment des tunnels. Le poids du bateau n'est qu'une difficulté relative en ce qu'il oblige seulement à multiplier les points d'appui, toutefois il rend le chargement et le déchargement moins faciles, et cela d'autant plus que la légèreté de construction des coques rend celles-ci plus sujettes à subir des fatigues exagérées, tant dans ces manœuvres que dans le transport proprement dit.

Le passage dans les courbes des chemins de fer exige que les bateaux soient montés sur des supports ou bers pivotant sur les trucs avec admission d'un déplacement transversal.

Le torpilleur français n° 71 a été monté sur deux trucs à six roues construits spécialement à cet effet. Ces trucs avaient leurs essieux écartés de 2,10 *m* et les essieux extrêmes avaient leurs boites disposées de manière à permettre le jeu nécessaire pour le passage dans des courbes de 115 *m* de rayon.

A cause de la forme du gabarit des tunnels, on avait dû disposer les trucs pour abaisser autant que possible les coques; ces trucs construits au Creusot étaient entièrement en métal. Les pivots des bers se trouvaient à 8,15 *m* seulement de distance, de sorte que l'avant du bateau était en porte-à-faux de 13,50 *m* et l'arrière de 10 *m* par rapport aux pivots des trucs, mais sous ces parties étaient disposés des wagons plate-formes ordinaires pour établir la continuité des attelages et sans supporter en rien le bateau, une de ces plates-formes présentant une ouverture pour laisser passer la saillie inférieure de l'étambot du torpilleur, saillie qui, dans ce modèle, descend notablement en contre-bas de la quille.

On peut se demander si, étant donnée la finesse des extrémités des tor-

pilleurs, il est bien utile de supporter les coques à des distances si rapprochées et de laisser tant de porte-à-faux aux deux bouts.

Aux États-Unis, avec des bateaux de dimensions analogues, on a pu sans inconvénient écarter les pivots des bers de 18 *m* au lieu de 8,15 *m*.

Le torpilleur français nº 71 a été sorti de l'eau à Toulon au moyen d'une puissante grue hydraulique et il a été remis à flot à Cherbourg avec une grue flottante. Il est probable que cette manière d'opérer est la plus convenable; on trouve des grues assez fortes dans tous les arsenaux et dans les grands ports de commerce. Toutefois, si on ne disposait pas d'engins de cette espèce, il ne serait pas bien difficile d'organiser des systèmes de plans inclinés pour mettre les bateaux à l'eau et, si cette opération devait se répéter fréquemment au même endroit, ce serait une solution à recommander.

Pour préparer un torpilleur à être transporté, il faut enlever les munitions et provisions, le charbon, l'eau, les agrès et armement, cheminée, gouvernail, propulseur, etc., placer tous ces objets avec soin dans les wagons qui doivent accompagner le bateau. La machine doit être protégée contre l'humidité ou les projections de cendre, escarbilles, etc., par de la céruse et du suif, les robinets et valves doivent être clos et les ouvertures à l'extérieur de la coque bouchées.

Le bateau doit être posé sur les bers de support dans une position bien verticale et y être assujetti de manière à ne pouvoir se déranger; toutes les pièces en contact avec la coque doivent être en bois de sapin avec les fibres dans le sens longitudinal et distribuer les pressions sur une surface aussi grande que possible; elles doivent être munies d'arrêts pour ne pouvoir se déranger par les secousses du transport.

Il est économique de transporter plusieurs bateaux par le même train et il n'y a de limite au nombre que celle que les règlements peuvent imposer à la longueur du train, à moins toutefois qu'il n'y ait intérêt à transporter d'urgence un ou deux bateaux, dès qu'ils sont prêts, sans attendre que les autres soient préparés ou encore qu'on ne dispose pas d'un nombre suffisant de trucs et qu'il faille ramener ceux-ci au point de départ pour recevoir d'autres torpilleurs.

Il n'y a pas intérêt en général à mélanger dans le même train des gros et des petits torpilleurs, parce que les gros doivent être transportés à plus faible vitesse que les petits.

Les bateaux doivent être accompagnés de leur équipage et de leur armement complet et toujours sous la surveillance de leur personnel.

Dans le transport du torpilleur français nº 71, le train contenait une voiture de première et une de deuxième classe pour la commission d'expériences, une de troisième pour le personnel, et deux wagons pour les accessoires, en dehors des trucs portant le bateau et des plates-formes destinées à compléter l'attelage. L'équipage se composait d'un lieutenant de vaisseau commandant, d'un officier de grade inférieur et de dix hommes, et il est bon de dire, pour indiquer toutes les précautions à prendre, que pendant les essais préliminaires entre la Seyne et la Ciotat, un malheureux marin fut accroché par les fils télégraphiques et jeté en bas du train. On éprouva aussi quelques échauffements de boites à graisse.

En alignement droit on peut marcher à grande vitesse, mais on doit

franchir les courbes à une vitesse assez modérée pour éviter les oscillations du bateau.

Le torpilleur 71 a fait le trajet de 1 300 *km* en quatre jours, le trainne marchant pas la nuit; la vitesse moyenne de marche était de 25 à 30 *km* à l'heure et elle fut de temps en temps poussée jusqu'à 40 *km* à titre d'expérience. On a prouvé dans cette circonstance qu'avec des trucs et des bers tout préparés, un torpilleur de 33 *m* pouvait être mis sur wagon et expédié en 24 heures et remis à l'eau et prêt à entrer en service 24 heures après son arrivée à une distance de plus de 1 000 *km*.

Le prix d'un transport de ce genre ne saurait être évalué d'une manière précise en présence de la nouveauté du procédé et du de peu données qu'on possède à ce sujet.

Dans l'expérience du torpilleur 71, la préparation et l'accommodation des trucs a coûté 32 000 *f*, plus 6 000 pour la plate-forme destinée à recevoir la saillie inférieure de l'étambot. Les compagnies de chemins de fer ont fait payer 8 *c* par tonne et par kilomètre, ce qui représente un total de 12 250 *f* pour la distance de Toulon à Cherbourg.

Il faut tenir compte de ce que l'appropriation des trucs et bers a lieu une fois pour toutes et qu'une partie des dépenses de l'expérience précédente peut être considérée comme dépenses d'établissement et ne se renouvellerait pas pour les opérations suivantes.

En résumé, on peut formuler les conclusions suivantes:

Le transport des torpilleurs par chemin de fer constituant une opération qu'on n'entreprend qu'en cas de nécessité urgente, la rapidité est une condition essentielle, tant pour le transport proprement dit que pour le chargement et le déchargement. On doit donc s'attacher à préparer à l'avance, et en nombre suffisant pour les besoins, des trucs et appareils accessoires d'un modèle étudié avec le plus grand soin pour répondre aux diverses conditions exigées.

De même, on doit désormais considérer comme un point essentiel du programme de l'étude de bateaux analogues l'éventualité de leur transport par voies ferrées.

Les États-Unis sont très favorisés au point de vue du réseau de leurs chemins de fer relativement à la question qui nous occupe, et il serait possible en cas de guerre de transporter rapidement des torpilleurs entre tous les grands ports de l'Atlantique, du golfe du Mexique, des lacs et du Pacifique.

Ce transport pourrait même être effectué par des routes diverses, ce qui éviterait l'encombrement et parerait au danger d'interruption des communications par un accident toujours à prévoir.

Le lieutenant Chambers a étudié pour le transport des torpilleurs de seconde classe un système de ber qui présenterait les avantages suivants:

1° Force et rigidité combinées avec une grande légèreté relative.

2° Simplicité et facilité d'assemblage des diverses parties.

3° Possibilité de construction à tous les endroits où on peut avoir du bois débité.

4° Faculté de disposer les pivots très bas, soit sur les plates-formes ordinaires de chemins de fer, soit sur des trucs spéciaux.

5° Possibilité de charger et décharger les bateaux à des places où on ne peut pas disposer de grues où appareils de levage.

6° Faculté de s'adapter à toutes les formes et dimensions de coques dans les limites de celles qui peuvent être transportées par voies ferrées.

7° Avantage de supporter la coque sur les fonds et la quille d'une manière continue dans une longueur de 18 *m*.

L'article dont nous extrayons ce qui précède ne fait qu'énumérer les avantages réclamés pour ce système sans en donner aucune description.

Tirage par cheminées et tirage forcé. — Nous trouvons dans les publications de l'*Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland* (Ingénieurs d'Écosse) un mémoire de M. F. J. Rowan sur le tirage, qui contient des observations intéressantes.

Ce mémoire débute par la reproduction des formules de Rankine pour le calcul de la charge qui produit l'écoulement des gaz à une vitesse déterminée dans une cheminée, formule semblable à celle de Peclet et de la forme :

$$h = \frac{v^2}{2g}\left(13 + \frac{0\,012\ l}{m}\right)$$

dans laquelle h est la charge qui produit l'écoulement des gaz, l la hauteur de la cheminée et m un coefficient donnant le rapport de la section de la cheminée à son périmètre, c'est-à-dire le quart du diamètre pour une cheminée circulaire ou carrée.

La charge h est exprimée en hauteur de colonne de gaz chauds à la température de la cheminée; on la transforme facilement en kilogrammes par centimètre carré ou en hauteur d'eau.

Rankine a indiqué que, pour une même température extérieure, il y a une certaine température des gaz dans la cheminée qui donne le meilleur tirage, c'est-à-dire le plus grand poids de gaz chauds écoulé par unité de temps. On trouve par le calcul que ce maximum correspond à un rapport de 25 à 12 entre les températures absolues des gaz dans la cheminée et de l'air extérieur, soit sensiblement le rapport de 2 à 1.

Rankine ajoutait qu'on pouvait poser comme règle pratique que, pour avoir une bonne utilisation d'une cheminée, il fallait que la température des gaz y fût sensiblement, mais sans la dépasser, celle qui correspond à la fusion du plomb. Comme à chaque kilogrammme de charbon brûlé dans ces conditions correspondrait un poids de 24 *kg* d'air, le volume des gaz chauds devient très considérable et la chaleur emportée par ces gaz constitue une cause de perte importante.

Pour avoir une combustion active avec une cheminée de faible hauteur, comme dans les locomotives, on détermine un tirage artificiel par un jet de vapeur. Il n'y a pas avantage économique dans cette manière d'opérer, car les gaz s'échappent à une haute température par suite de la vitesse avec laquelle ils passent sur les surfaces de chauffe, vitesse qui les empêche de se dépouiller suffisamment de leur calorique.

La dépression produite par le jet de vapeur est équivalente à la partie de la pression atmosphérique qui est équilibrée par le choc du jet de vapeur contre la colonne de gaz chauds dans la cheminée, mais son effet

dépend de divers éléments tels que le diamètre du jet de vapeur, sa position relative dans la cheminée, etc.

Les résultats rapportés par M. D. K. Clark dáns son célèbre ouvrage «*Railway Machinery*» indiquent qu'en général la dépression déterminée dans la boite à fumée des chaudières de locomotives par l'échappement est environ les 0,7 de la pression de l'échappement, la dépression dans la boite à feu est du tiers à la moitié de celle de la boite à fumée et la production de vapeur varie à peu près comme la racine carrée de la dépression dans la boite à fumée. M. Clark donnait les proportions des divers éléments de la cheminée, de la boite à fumée et du tuyau d'échappement à adopter pour avoir le meilleur rendement.

L'emploi du travail mécanique pour déterminer le tirage, bien que recommandé par Peclet (1), n'a été qu'exceptionnellement appliqué; il semble pourtant devoir donner lieu à des économies très sérieuses. C. Wye Williams a fait quelques expériences qui ont confirmé les faits donnés par Peclet et qui ont prouvé qu'avec un tirage mécanique la puissance d'évaporation d'une chaudière pouvait être portée de 700 à 1 180 *kg* d'eau à l'heure et, le rendement du combustible de 7,21 à 9,26 de vapeur pour 1 de combustible.

Thomas Box, en étudiant la question du tirage artificiel par le moyen d'un ventilateur, démontre que le rapport entre la quantité de combustible nécessitée pour le travail mécanique effectuant le tirage artificiel et celle que coûte le tirage naturel par une cheminée est de 1 à 11, et M. Minary, dans une étude très savante et très complète, arrive à trouver que le tirage par cheminée dépense 26 fois la quantité de charbon que nécessiterait l'action d'une machine à vapeur sur un ventilateur pour produire le même effet.

Comme MM. Box et Minary ont tous deux admis dans leurs calculs un rendement assez faible du ventilateur et un effet utile ordinaire pour le moteur à vapeur, on peut conclure que les résultats indiqués par eux ne sont pas exagérés.

On a dans beaucoup de cas employé des souffleurs sous grilles pour remplacer les ventilateurs. Ces appareils consistent en un jet de vapeur disposé d'après le principe de l'injecteur, c'est-à-dire agissant au centre d'un tuyau conique où l'air arrive et envoyant celui-ci sous la grille, dans un cendrier clos; on effectue ainsi la combustion sous une certaine pression, sans avoir à redouter la fusion des barreaux de grille par un excès local de température comme avec l'insufflation de l'air par un ventilateur, parce que la décomposition de la vapeur d'eau absorberait une certaine quantité de chaleur. Ce genre d'appareil, quoique assez fréquemment appliqué, ne parait pas avoir été l'objet d'expériences aussi complètes que les autres systèmes.

Le tirage forcé ou tirage artificiel a, comme on l'a déjà indiqué, été recommandé depuis longtemps par des esprits éminents qui avaient démontré que la mise en mouvement des gaz qui détermine l'afflux

(1) On sait que Peclet, dans son *Traité de la chaleur* mentionne des expériences faites dans une brasserie, d'après lesquelles un ventilateur, dépensant *six* chevaux, assurait le tirage suffisant de chaudières dont le tirage par cheminée aurait absorbé une dépense de chaleur correspondant à la production d'un travail de *cinquante* chevaux.

d'air au foyer peut être opérée plus économiquement par des moyens mécaniques que par l'échauffement d'une colonne de gaz qui emporte de la chaleur en pure perte. On peut avoir ainsi une combustion à température plus élevée et une vaporisation plus efficace. Un autre avantage est qu'on peut contrôler beaucoup plus facilement l'intensité de la combustion. Au point de vue économique, on laisse sortir les gaz à une température presque aussi basse qu'on le désire et réduit presque à zéro la chaleur conservée par eux et perdue dans la cheminée.

Peclet a été probablement le premier à mettre ces faits en évidence d'une manière précise; nous ne reviendrons pas sur ce qui a été dit plus haut à ce sujet. les résultats obtenus par Wye Williams sont peut-être moins connus. Voici des chiffres obtenus par cet Ingénieur sur une chaudière à vapeur.

	CHARBON BRULÉ PAR HEURE	EAU VAPORISÉE par *kg* DE CHARBON	TEMPÉRATURE dans LES CARNEAUX	TEMPÉRATURE des GAZ SORTANTS
	kg.			
Ventilateur	120	9,26	550°	340°
Cheminée.	97,5	7,21	380°	210°

On voit que l'emploi du tirage artificiel a eu pour effet non seulement d'accroître la quantité de vapeur produite par la même chaudière dans le rapport de $120 \times 9{,}26 = 1\,110$ à $97{,}5 \times 7{,}21 = 703$ soit 1,58 à 1, mais encore chaque *kg* de vapeur a coûté 22 0/0 de moins de combustible pour sa production.

On remarquera que, dans le cas dont nous nous occupons, les gaz s'échappaient dans la cheminée avec une température plus élevée qu'avec le tirage naturel, cela tient à la disposition adoptée dans cette expérience par Wye Williams qui avait disposé un ventilateur aspirant à la sortie de la chaudière, de sorte que les gaz s'échappaient avec une grande vitesse sans perdre suffisamment leur calorique au contact des surfaces de chauffe; l'économie est donc due, dans ce cas, entièrement à la température plus élevée de la combustion et nullement au refroidissement plus complet des gaz.

La question a été posée d'une manière très nette dans une étude de M. Minary, publiée en 1868. Le calorique emporté dans l'atmosphère par les gaz de la combustion, bien que non utilisé pour l'opération industrielle à laquelle doit servir la combustion, n'est pas entièrement perdu puisqu'il sert à produire le courant d'air qui alimente cette combustion. On peut opérer ce courant d'air par des moyens mécaniques, ventilateurs, etc., jet de vapeur, comme dans les locomotives, etc.

Le mot « tirage » qui semble indiquer une succion ou aspiration par la cheminée, ne donne pas une impression exacte de la manière dont les choses se passent et l'emploi de cette expression a contribué à accréditer de fausses idées sur la question parmi les praticiens ; elle a no-

tament établi une prévention contre le système du soufflage sous les foyers.

Une cheminée ne produit pas d'aspiration. Le courant d'air qui traverse le foyer est déterminé par l'excès de la pression de l'air extérieur sur la pression de l'air dans le foyer. Cette différence est causée par celle qui existe entre les densités de l'air extérieur et des gaz intérieurs dilatés par la chaleur.

(A suivre.)

Tunnel sous un fleuve. — On construit actuellement, dans l'Amérique du Nord, un tunnel qui passe à Port-Huron sous la rivière Saint-Clair à la pointe méridionale du lac Huron.

Du côté des États-Unis, le tunnel commence à 750 *m* environ de la rive et descend jusqu'à une profondeur de 15 *m* au-dessous du lit du fleuve; la longueur sous celui-ci est de 660 *m*, et la montée sous la rive canadienne de 1 200 *m*, ce qui représente un total de 2 610 *m*. Les pentes d'accès ont 17 *mm* par mètre de déclivité.

La section est circulaire de 6,71 *m* de diamètre. On opère au moyen d'un bouclier également circulaire du même diamètre que la galerie, poussé par 24 vérins hydrauliques, dont chacun peut exercer un effort de 55 tonnes.

Le bouclier est bien entendu divisé en autant de parties. Le tunnel est cuvelé en fonte au fur et à mesure de l'avancement du bouclier.

Cinq voies de chemins de fer portant des wagonnets de 1,5 *m* cube servent à l'extraction des déblais. Ces wagonnets sont trainés par un câble mis en mouvement par une machine à vapeur. Une machine soufflante envoie de l'air au fond du tunnel par un conduit de 0,60 *m* de diamètre.

Les travaux sont éclairés à la lumière électrique.

De chaque côté de la rivière on emploie 125 hommes et on travaille jour et nuit. On prévoit que la rencontre des deux parties du tunnel se fera à 210 *m* environ de la rive canadienne.

On ne fait d'abord que le tunnel sous le fleuve, on perce sous les approches de simples galeries qu'on élargira et muraillera après l'achèvement du premier.

On a estimé que le travail coûterait 12 1/2 millions de francs, ce qui ferait 4 800 *f* le mètre courant, mais beaucoup de gens compétents pensent que la dépense montera probablement au double.

Action de l'aluminium dans la fonte. — M. W. J. Keep a lu à l'Association américaine pour l'avancement des sciences un mémoire relatif à des expériences faites par lui avec le concours de MM. Mabery et Vorce sur l'effet de l'introduction d'aluminium dans la fonte.

Ces expériences sembleraient indiquer que :

1°. — L'aluminium augmente la résistance du métal, le grain devient plus fin et plus serré ;

2°. — Si on refond le métal obtenu, l'aluminium y reste en même proportion et les propriétés nouvelles sont conservées ;

3°. — Quant à l'influence exercée par l'aluminium sur la forme du carbone dans la fonte, on peut dire que plus la proportion d'aluminium s'approche de 4 0/0, limite atteinte dans les recherches de M. Keep, plus

la fonte sera douce et grise, la fonte blanche est même transformée en grise ;

4°. — Lorsque la proportion d'aluminium est suffisante, les fontes ont une surface lisse et le sable des moules ne s'y attache pas.

5°. — Avec l'aluminium la fonte ne peut être trempée en coquille.

6°. — L'aluminium diminue la dureté de la fonte et la rend facile à travailler avec les divers outils.

7°. — La résistance à des charges graduellement croissantes est augmentée.

8°. — La résistance au choc est considérablement accrue. Les barres d'essai provenant de fontes primitivement blanches ont leurs qualités de résistances beaucoup plus améliorées que celles provenant de fontes grises.

9°. — L'élasticité du métal est beaucoup augmentée ;

10°. — Le métal contenant de l'aluminium donne beaucoup moins de déformation permanente que la fonte de même nature contenant du silicium.

11°. — L'aluminium diminue le retrait des moulages.

12°. — Quant à l'influence sur la fluidité du métal fondu, les auteurs rapportent que, si le point de départ était une fonte blanche contenant peu ou point de silicium, l'addition d'aluminium augmente la fluidité et que, si au contraire, la fonte primitive était grise et contenait du silicium en proportion notable, la fluidité semble plutôt diminuer.

Au sujet de ces expériences, M. Hammer fait observer qu'il est à regretter que les auteurs, au lieu d'employer de l'aluminium pur, se soient servis de ferro-aluminium contenant 11.42 0/0 d'aluminium et 3.86 0/0 de silicium, parce que la présence de ce dernier métal simultanément avec l'aluminium est de nature à inspirer quelques doutes sur l'exactitude des observations et sur la part d'influence qu'elles semblent réserver à l'aluminium seul.

Industrie minérale et métallurgique en Russie. — D'après les statistiques officielles pour l'année 1885, il a été extrait en Russie dans cette année 109 500 *t* de minerai de fer de 608 minières et 136 lacs, ces derniers en Finlande. Ces extractions se font en général d'une manière très primitive et presque toutes à ciel ouvert, car on n'y compte que 37 machines à vapeur, d'une force collective de 531 chevaux. La plupart de ce minerai, 60 000 *t*, provient de l'Oural.

Il a été extrait 59 700 *t* de minerai de manganèse dans le gouvernement de Kutais et 900 *t* dans celui de Perm.

La production des combustibles minéraux a augmenté en dix ans de 135 0/0. Elle s'est élevée en 1885 à 4 273 476 *t*, soit 340 000 *t* de plus que l'année précédente. Dans ce total figurent 564 660 *t* d'anthracite et 37 840 de lignite. On ne trouve d'anthracite que dans le bassin du Donetz, tandis que le lignite s'extrait dans le gouvernement de Kiew, celui de Petrikau, le Turkestan, etc.

C'est le bassin du Donetz qui produit la plus grande partie des combustibles minéraux, 1 885 000 *t*. Après vient la Pologne, avec 1 792 000 *t*, le bassin de Moscou, avec 350 000 *t* et l'Oural, avec 178 000 *t* ; les

autres exploitations donnent des chiffres presque insignifiants. Il y a en tout 513 mines employant 31 200 ouvriers et 324 machines à vapeur d'une force collective de 12 500 chevaux.

En 1885, 1 092 000 *t* de minerai ont été employées à la production de 327 526 *t* de fonte brute, soit 18 000 *t* de plus que pour 1884. Le nombre des usines a été de 131, contenant 195 hauts fourneaux, dont 107 soufflés à l'air chaud.

De cette quantité de fonte, 89 0/0 est de la fonte au bois, 9.4 de la fonte au combustible minéral et 1.6 de la fonte mixte. Les usines comprennent 205 machines soufflantes.

Les fers marchands sont produits dans 196 usines contenant 544 feux d'affinage et 605 fours à puddler, 870 marteaux dont 325 mus par la vapeur et 456 trains de laminoirs. La production s'est élevée à 362 720 *t* de fer marchand, dont 81 000 *t* de tôles minces et 17 700 de tôles pour chaudières et coques de navires.

La fabrication de l'acier s'est faite dans 34 usines comprenant 35 fours de cémentation, 70 fours à sole, 524 fours de fusion à creusets, et 17 convertisseurs Bessemer. La production s'est élevée en 1885 à 193 130 *t* dont 53 0/0 d'acier Bessemer, 43 d'acier sur 106, 1.9 d'acier fondu au creuset, 1.25 d'acier puddlé et 0,85 d'acier fabriqué par cémentation.

Chauffage des trains de chemin de fer. — Dans sa revue ordinaire de fin d'année, l'*Engineer* traite comme suit la question du chauffage des trains de chemin de fer.

Aucune question relative au service des voyageurs sur les chemins de fer n'a plus d'actualité que celle du chauffage des voitures. Le système des bouillottes vaut à peine mieux que rien du tout. Il est extraordinaire que les Compagnies ne se préoccupent pas davantage de ce sujet. Aux États-Unis, de terribles catastrophes amenées par l'usage des poêles attirent l'attention sur le chauffage par la vapeur dont on propose déjà une quantité de systèmes.

On peut indiquer à ce propos que la méthode appliquée au Caledonian Railway par M. Drummond a donné les résultats les plus satisfaisants. On emploie pour le chauffage des voitures la vapeur d'échappement de la pompe du frein Westinghouse, laquelle est parfaitement suffisante ; toutefois, pour parer à toute éventualité, on dispose un branchement permettant de faire une prise de vapeur directe à la chaudière en cas de besoin. La conduite de vapeur se compose d'un tuyau en fer de 25 millimètres de diamètre posé sous les voitures ; les raccords se font par des tuyaux en caoutchouc semblables à ceux des freins continus ; on emploie même à cet usage des vieux raccords hors d'usage pour le service des freins, mais encore bons pour contenir de la vapeur presque sans pression. On perce, à la partie inférieure des coudes en caoutchouc, un trou de 1 1/2 *mm* de diamètre pour laisser écouler l'eau de condensation. Les tuyaux en fer sont recouverts d'une couche de feutre et d'une enveloppe de toile pour prévenir le refroidissement.

Dans chaque compartiment est disposé, sous une des banquettes, un réservoir cylindrique en fonte mince de 225 litres environ de capacité. Les réservoirs de deux compartiments voisins sont placés en regard de

manière qu'un seul branchement de la conduite principale en desserve deux. Ces réservoirs ont une légère pente aboutissant à un trou de 1 1/2 *mm* ouvrant dans un petit conduit qui évacue sous la voiture l'air et l'eau de condensation.

La proportion de surface de chauffe correspondant au volume indiqué permet de chauffer à 16 degrés centigrades les compartiments par les froids les plus rigoureux que l'on rencontre sur la partie nord du réseau calédonien. Les voyageurs s'habituent bien vite à régler cette température par l'ouverture des ventilateurs établis au-dessus des portières.

L'installation de ce système de chauffage coûte 110 *f* pour la machine et le tender, plus 45 *f* par compartiment chauffé. 12 trains du *Caledonian* sont munis de ce dispositif et sont en service depuis trois hivers consécutifs, et on va appliquer le système à tout le matériel à voyageurs.

On peut espérer que ce mode de chauffage est appelé à se généraliser. car il représente un progrès réel.

COMPTES RENDUS

SOCIETE D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

NOVEMBRE 1888

Rapport de M. ALFRED TRESCA sur une **disposition de pompes à sangles**, présenté par M. le vicomte DE BEAUSSIER.

Cette disposition est un perfectionnement de la classique corde de Véra, dans lequel l'inventeur emploie une sangle portant des franges de matières textiles ou des matières spongieuses telles que des fibres de raphia. La sangle passe sur un tambour supérieur recouvert d'un chapeau en zinc qui permet de recueillir les filets liquides entraînés du réservoir inférieur dans lequel plonge cette sangle.

Les essais ont été faits avec une manivelle dynamométrique sur laquelle agissaient les hommes qui manœuvraient l'appareil.

Dans ces essais, la pompe puisait l'eau à 15 *m* au-dessous de l'axe du tambour et la déversait à 0,15 *m* au-dessous du même axe. La vitesse de la sangle était de 3,25 *m* en moyenne.

On a opéré avec diverses espèces de sangles; le rapport entre le travail en eau montée et le travail développé sur la manivelle a été de 0,328 au minimum et de 0,531 au maximum.

Le rapporteur fait remarquer que, si ces rendements sont en général assez faibles relativement à ceux donnés par certaines machines élévatoires, il faut tenir compte de la rusticité de l'appareil qui ne comporte aucune cause d'usure et de dérangement. Il semble donc appelé à rendre de réels services dans beaucoup de cas.

Rapport de M. PRUNIER sur un **dispositif nouveau pour la préparation de l'oxygène** par M. M. P. PELLIN.

Cet appareil se compose d'une sorte de cornue verticale en fonte avec un couvercle; le joint de ces deux pièces s'opère par un emboitement dans des rainures contenant du sable ou des cendres lavées et séchées. Des pinces à vis assurent l'assemblage et lui permettent de tenir à une pression de 35 à 40 *cm* d'eau, ce qui est plus que suffisant pour équivaloir à la pression due à la hauteur d'eau du flacon faveur.

On chauffe dans cette cornue le mélange de chlorate de potasse et de peroxyde de manganèse qui sert à produire le dégagement d'oxygène.

Une disposition spéciale de la partie du couvercle qui avoisine l'orifice du tuyau de dégagement empêche, en cas de boursouflement de la matière, celle-ci de s'engager dans le tube abducteur.

Cet appareil est de nature à faciliter la préparation rapide et commode de l'oxygène dans les laboratoires.

Rapport de M. Lavollée sur la **Société philanthropique du prêt gratuit.**

Cette Société existe à Paris depuis 1882. Elle a cherché à remplir le but d'associations organisées dès le quinzième siècle en Italie d'où sont sortis les Monts-de-Piété lesquels ont d'ailleurs singulièrement modifié les dispositions originaires au point de vue de la gratuité.

La Société dont il s'agit ne prête qu'après enquête sérieuse et sur caution ou délégation sur les salaires à toucher, s'il s'agit d'ouvriers. Les résultats obtenus sont remarquables. Avec un capitai de 30 000 *f* à peine, elle a pu faire, en quatre années, 126 226 *f* d'avances à 1 665 familles et, sur cette somme, il lui a été remboursé 104 785 *f*. Si on tient compte des prêts non échus, on constate que les remboursements représentent, pour les quatre années, 94 1/4 0/0 du montant des avances. Le déficit est comblé par des subventions et des dons qui s'élèvent déjà à des sommes importantes.

Inauguration d'une plaque commémorative en l'honneur de M. J.-R. Breant. — Discours de M. le duc de Broglie.

Breant, né à Ajou (Eure), en 1774, et mort à Paris en 1850, a été pendant de longues années membre du Conseil de la Société d'encouragement; c'est à lui qu'on doit le legs mémorable, connu sous le nom de prix Breant, d'une somme de cent mille francs, promise à celui qui trouverait la cause aussi bien que le remède du choléra.

Note sur les travaux de l'Exposition universelle de 1889. — Cette note, après un court historique des expositions précédentes et quelques chiffres comparatifs destinés à faire ressortir le plus ou moins d'importance relative de ces dernières, donne une description très complète des diverses parties de l'Exposition de 1889, contenant : 1° le Champ de Mars, destiné aux machines, produits industriels, arts libéraux et section des Beaux-Arts ; 2° le quai d'Orsay, pour les produits agricoles et produits alimentaires; 3° l'esplanade des Invalides, pour les expositions des colonies françaises et pays de protectorat et les expositions des ministères ; et enfin 4° les jardins du Trocadéro, pour l'exposition d'horticulture.

On trouve dans ce travail très complet, présenté sous la signature C. W., la description détaillée de tous les palais avec des indications sur la disposition des fermes et leur montage avec dessins à l'appui, ainsi que sur la force motrice destinée à la mise en mouvement des machines, etc., de même que des renseignements intéressants sur les poids par mètre carré superficiel des diverses charpentes ; une partie de ces renseignements sont empruntés d'ailleurs à la communication faite l'année dernière à la Société des Ingénieurs civils, par M. Contamin.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Octobre 1888

Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir, par M. H. Bazin, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

La théorie de l'écoulement en déversoir est une des plus complexes et des moins avancées de l'hydraulique; elle se rattache, d'une part, à la théorie de l'écoulement par les orifices et, de l'autre, à celle des canaux découverts. Les expériences pour déterminer les coefficients ne sont pas très nombreuses et ont été presque toutes effectuées sur une petite échelle.

L'auteur, dans le but de faire progresser la question, a entrepris, en 1886, une série d'expériences effectuées sur un déversoir type dont le tarage a été fait avec précision; c'est à l'examen de ces expériences qu'est consacré le mémoire dont nous nous occupons ici.

On a opéré sur une rigole dérivée du canal de Bourgogne, près de Dijon, laquelle avait 2 *m* de largeur avec des parois verticales de 1,20 *m* de hauteur; le déversoir occupait toute la largeur et l'écoulement avait lieu en mince paroi, les poutrelles du barrage étant surmontées d'une lame de tôle de 7 *mm* d'épaisseur. Le tarage se faisait par le remplissage d'une capacité connue formée d'une partie de la rigole elle-même, opération compliquée d'ailleurs de difficultés de détail décrites dans la note. Celle-ci ne contient d'ailleurs que ce qui est relatif à cette question et doit être suivie d'autres articles sur les phénomènes complexes qui se produisent dans l'écoulement, surtout lorsque celui-ci s'effectue sans libre admission de l'air sous la nappe.

Le canal maritime de Corinthe, par M. Saint-Yves, inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées.

Le percement de l'isthme de Corinthe a pour but de permettre à la navigation d'éviter le tour de la presqu'île de Morée. Il abrégera le parcours en destination de la Grèce et de la Turquie d'Europe de 342 *km* pour les provenances de l'Adriatique et de 178 pour celles de la Méditerranée, sans compter le gain en sécurité, le cap Matapan étant dangereux à doubler.

La longueur totale du canal est de 6 342 *m*. La largeur prévue est de 22 *m* au plafond sur 8 *m* de profondeur au-dessous des plus basses eaux.

Le programme des travaux à effectuer consistait : 1° à se débarrasser par les moyens mécaniques ordinaires de la partie alluvionnaire représentant un cube total de 2 1/2 millions de mètres cubes; 2° à désagréger par des explosifs le massif rocheux inférieur aux alluvions et à enlever les débris par des dragues spéciales.

Les travaux ont commencé en avril 1882. De cette date au 1er janvier 1885, on a opéré par dragage et, en dehors des installations, on n'a pu enlever que 1 300 000 m^3. Les résultats n'étant pas considérés comme satisfaisants, on fit un nouveau programme dans lequel on donnait une importance prépondérante à l'enlèvement des déblais au moyen de wagons et de locomotives. Suivant cet ordre d'idées, les travaux ont été développés d'une manière remarquable et, de 1885 à 1887, il a été enlevé près de 5 millions de mètres cubes. Mais on a dû prévoir des travaux supplémentaires importants pour le revêtement des berges, dans les parties où la cuvette traverse les marnes bleues et les sables, pour l'adoucissement des talus, l'exécution de murs de revêtement, l'établissement d'un touage sur chaine noyée, etc.

L'auteur de la note estime que le canal terminé coûtera 60 000 millions (double du chiffre prévu) soit 10 millions par kilomètre ou 6 *f* par mètre cube. Le canal de Suez a coûté 3 1/2 millions de francs par kilomètre, soit 7 *f* par mètre cube. On peut estimer que, pour une mise en exploitation provisoire, le canal de Panama coûtera 22 millions par kilomètre ou 15,71 *f* par mètre cube (1).

Prix donnés aux élèves ingénieurs sortis de l'École des Ponts et Chaussées, en 1888.

ANNALES DES MINES

4me livraison de 1888.

Études métallurgiques, par M. Osmond, ingénieur des Arts et Manufactures.

L'auteur rappelle qu'il a, dans un précédent mémoire : théorie cellulaire des propriétés de l'acier, publié dans les *Annales des mines*, de juillet et août 1885, essayé de relier entre eux et de rapporter à un petit nombre de causes simples les phénomènes si complexes que présentent le travail et les emplois des aciers. La principale est la double forme que peut affecter le carbone des fers du commerce, des aciers et des fontes, savoir : carbone de recuit et carbone de trempe, ces deux formes pouvant d'ailleurs coexister. Le passage de l'un de ces états à l'autre peut expliquer toutes les propriétés différentes d'un métal.

Le nouveau travail a pour objet : d'abord, de vérifier, préciser, compléter et, au besoin, rectifier les conclusions du premier mémoire, lesquelles reposaient encore, à l'époque où elles avaient été formulées, sur des données en partie insuffisantes ; ensuite, de tâcher de relier entre elles les recherches étrangères entreprises sur le même sujet, lesquelles recherches, rares à l'origine, tendent à devenir de plus en plus nombreuses.

Le travail est divisé en quatre parties dont la première étudie les transformations du fer et du carbone dans les aciers et les fontes blanches ; la seconde est consacrée à l'étude calorimétrique de l'écrouissage de l'acier dans un essai par traction ; la troisième partie examine les phénomènes qui se produisent pendant le chauffage et le refroidissement des fontes ; et la quatrième, contient des recherches sur le point β de Tchernoff. Rappelons que le point β est, d'après le célèbre métallurgiste, une température telle que l'acier chauffé au-dessous de β ne change pas de structure, qu'il soit refroidi brusquement ou lentement.

Note sur les **gîtes de mercure de Monte-Amiata** (Toscane), par M. Primat, Ingénieur des mines.

Le district minier de Monte Amiata est situé dans la province de Grosseto et desservi par la station de Monte-Amiata, sur le chemin de

(1) Ceci était écrit en décembre 1887.

fer de Grosseto à Siena, station située à 27 *km* du centre des mines. On a trouvé le cinabre sur une quantité de points répartis sur une longueur de 20 *km*; il se présente sous deux formes : en filons et en couches.

Ces mines sont d'ailleurs exploitées depuis la plus haute antiquité, d'abord, selon toute probabilité, au point de vue de l'emploi du cinabre comme couleur.

Actuellement on traite le minerai, après une préparation mécanique peu importante dans des fours à cornues ou dans des fours continus; le mercure est condensé dans des chambres où l'on produit une pluie d'eau froide sous pression.

Le mercure revient à 1,50 *f* le kilogramme environ. La production a notablement augmenté depuis quelques années. De 116 *t* en 1875, elle s'est élevée successivement jusqu'à 237, en 1885.

Les prix de revient sur les chemins de fer, par M. Ricour, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Ce travail a déjà paru dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (voir comptes rendus de juin 1888, page 804).

Note sur **l'ozokerite de Boryslaw et les pétroles de Sloboda** (Galicie), par M. L. Babu, Ingénieur des mines.

L'ozokerite est un hydrocarbure solide qu'on trouve notamment à Boryslaw; on trouve dans les environs de nombreux gisements de pétrole. L'ozokerite se trouve dans le miocène, en filons et en couches dans des argiles ou des grès.

L'exploitation a une importance dont on se ferait difficilement une idée; il y a, répartis sur 90 à 100 *ha*, des milliers de puits, dont le dixième à peine est en activité. On exploite par puits et galeries, les premiers sont carrés et ont 1 *m* de côté, ils sont très rapprochés, de 3 à 10 *m* de distance et descendent jusqu'à 120 *m* de profondeur. Les terrains sont secs, ce qui simplifie considérablement l'exploitation; on n'a à se préserver que des eaux superficielles, mais, en revanche, la question de la ventilation est capitale, à cause de la présence des gaz hydrocarburés. On se contente généralement d'installer au-dessus des puits un ventilateur à bras, et d'employer des lampes de sûreté.

L'ozokerite se présente en morceaux ou sous forme de terres riches. Les opérations consistent en triage à la main, lavage à l'eau froide, lavage à l'eau chaude et traitement à la benzine et à la vapeur d'eau. Avant d'être livrée au commerce, l'ozokerite est coulée en pains de 50 à 60 *kg*. Elle revient en moyenne à 30 à 35 *f* les 100 *kg*. La production annuelle de Boryslaw s'élève à 5 millions de francs environ.

Les pétroles, dans la région de Sloboda, qui est la plus importante des Carpathes, sont distribués dans les grés qu'ils imprègnent d'une façon plus ou moins complète suivant la nature de ces grés. Il y a un très grand nombre de puits, forés généralement par le procédé canadien qui possède le double avantage de la rapidité et du bon marché. Les puits sont à 20 *m* au moins les uns des autres et disposés le plus souvent en quinconce.

Ces puits jaillissent quelquefois au début, mais pour peu de temps, de sorte qu'on extrait toujours l'huile avec des pompes.

Lanature des huiles est assez variable, elles sont tantôt brunes, tantôt vertes etcontiennent de 1 à 6 0/0 de paraffine.

Le raffinage des huiles brutes se fait dans des usines voisines.

La production totale de Sloboda peut être estimée à 2 000 barils environ par 24 heures.

5me *livraison de* 1888.

Commission des substances explosives.— Rapportsur l'étude des **questions relatives à l'emploi des explosifs** en présence du grisou.

Une commission a été instituée en 1887 par le Ministre des Travaux Publics pour étudier les questions se rattachant à l'emploi des explosifs dans les mines à grisou. Dès le début, cette commission jugea nécessaire de reprendre les expériences de la commission prussienne instituée dès 1880 et qui a publié les résultats de ses recherches au fur et à mesure de l'avancement de ses travaux. Il fut décidé que la commission des substances explosives instituée près le Ministère de la guerre serait chargée de cette étude expérimentale.

Les expériences ont été faites à la poudrerie de Sevran-Livry. Comme on ne pouvait avoir de grisou naturel, on employait du formène fabriqué par la réaction de l'acétate de soude et de la chaux sodée sous l'action de la chaleur.

Une première série d'expériences a été faite sur des explosifs librement suspendus au milieu des mélanges grisouteux.

On s'est servi pour produire les explosions d'une chaudière de 5,63 *m* de longueur et 1,50 *m* de diamètre en tôle de 16 *mm*. On établit dans cette chaudière, avec des précautions, décrites en détail dans le mémoire, un mélange gazeux de la composition qu'on désire, après y avoir introduit la cartouche fixée à une baguette de bois; on enflamme cette cartouche par l'électricité. On est averti de l'explosion du mélange gazeux, par l'élévation de température des parois de la chaudière et par la pression brusque indiquée par le manomètre.

L'explosion de l'explosif seul ne produit pas cet effet.

On a opéré sur quantité d'explosifs déjà connus dont les uns ont enflammés et d'autres n'ont pas enflammé le mélange gazeux. La commission a en outre procédé à des recherches théoriques sur le mode d'inflammation spéciale des mélanges grisouteux, et elle est arrivée à conclure qu'on peut, en mélangeant certaines substances à des explosifs dont la détonation allume le grisou, abaisser assez la température de cette détonation pour que les gaz qui en résultent n'allument pas, au moins dans les conditions ordinaires, les mélanges grisouteux au milieu desquels ils détonent.

Une seconde série d'expériences a porté sur les explosifs détonant en vases clos, ce qui est le cas des coups de mines. On a opéré en renfermant l'explosif dans un tube métallique, en plomb ou en étain, et en le faisant détoner comme précédemment dans la chaudière.

Les conclusions de ces expériences sont que, si la plupart des explosifs, employés actuellement dans l'exploitation des mines, enflamment les mélanges d'air et de grisou, on peut les mélanger avec des subs-

stances qui leur ôtent cette propriété, telles que le carbonate de soude, le sulfate de soude, etc.

Il y a également certains explosifs tels que la bellite, l'explosif Favier, etc., qui réalisent plus ou moins parfaitement la condition demandée.

Un rapport supplémentaire donne le résultat de nouvelles expériences sur les explosifs en présence d'un mélange d'air et de gaz d'éclairage, ainsi que des études sur le mode de détonation des explosifs et enfin de nouvelles études sur la recherche des explosifs présentant des garanties suffisantes de sécurité.

Les faits constatés confirment les conclusions du premier rapport; on conseille notamment l'emploi de l'azotate d'ammoniaque qui semble la matière la plus propre a abaisser la température de combustion.

Le rapport cite un certain nombre de mélanges à base d'azotate d'ammoniaque qui remplissent plus ou moins complètement les conditions de sécurité à exiger d'un explosif.

INSTITUT ROYAL DES INGÉNIEURS HOLLANDAIS (1).

Livraison du 19 *Septembre* 1888.

Mémoire de feu M. VAN KERCKHOFF sur la **consolidation des berges des canaux.**

Ce mémoire donne des renseignements très complets sur les divers systèmes (environ quarante) que l'on emploie en Hollande pour prévenir les éboulements des berges des canaux. La description sommaire de ces systèmes est accompagnée pour chacun des prix de revient et d'une figure. Ces renseignements sont d'ailleurs tirés des cahiers des charges et autres documents officiels.

Note sur un **fonçage de puits** près d'Amsterdam. — Étude géologique.

Livraison du 13 *Décembre* 1888.

Éboulement d'une partie des digues de défense du polder Vliete en Zélande, par M. LAMBRECHTSEN.

Ce mémoire contient la description d'un phénomène qui se produit de temps en temps sur les côtes de la Zélande et qui consiste dans la disparition brusque et subite dans la mer des digues et travaux de défense sur une longueur de plusieurs centaines de mètres.

Ces accidents sont causés par un glissement des couches géologiques qui servent de base à ces travaux.

(1) Résumé communiqué par M. J. de Koning.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 1. — *5 janvier 1889.*

Grue locomobile pour fonderies, par R. Holm.
Rupture d'un réservoir d'eau à Soncier, près Montreux, par le professeur O. Intze.
Causeries sur la mécanique appliquée par le Dr G. Holzmuller.

Chimie industrielle. — Aluminium. — Soude.

Groupe de Berlin. — Station centrale d'électricité à Berlin. — Causes et effets de l'attaque du plomb par l'eau dans les conduites.

Groupe de Hesse. — Fabrique de terres cuites artistiques de Otto Vogt, à Cassel.

Patentes.

N° 2. — *12 janvier 1889.*

Recherches sur le mouvement libre des clapets des pompes et des poufferies, par J. Tobell.

Chimie industrielle. — Aluminium. — Soude *(fin)*.
Appareils de sûreté pour chaudières à vapeur, par R.-M. Daelen.

Groupe de Saxe. — Système de construction de Monnier. — Construction des paratonnerres. — Richesse minérale de la Saxe au point de vue technique.

Patentes.

Bibliographie. — Le pyromètre, par C. Bolz. — Annuaire d'électrotechnique de G. Krebs et C. Grawinkel. — Comptes rendus du Congrès international de navigation intérieure, tenu à Francfort-sur-le-Mein, en 1888.

Correspondance. — Système métrique pour les pas de vis.

N° 3. — *19 janvier 1889.*

Nouvelle chaudière à vapeur à grand volume d'eau et son système de chauffage, par Aug. Hering.
Recherches sur le mouvement libre des clapets de pompes et de souffleries, par J. Tobell *(fin)*.
Expériences sur une pompe Worthington, par J. O. Knoke.

Groupe de Bergues. — Ecoles techniques moyennes.

Groupe du Rhin inférieur. — Machines à faire la glace et à rafraichir l'air. — Fabrication des limes.

Association des chemins de fer. — Tunnel du Simplon.
Patentes.



Bibliographie. — Manuel de mécanique appliquée de Egb. Hozer.

Correspondance. — Le pont du Forth. — Préparation des ingénieurs de fabriques dans les écoles techniques supérieures. — Aluminium.

Variétés. — Chemins de fer à traction électrique en Amérique.

N° 4. — *26 janvier 1889.*

Prix de revient de la lumière électrique, par H. Cox.

Installations centrales de manœuvre d'aiguilles et de signaux, par Steding.

Pression du grisou dans les couches de la mine Gabriel des houillères du prince Albrecht, à Karwin, par Kohler.

Régulateur automatique pour l'éclairage au gaz des villes.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Appareils de sondage automatique à manœuvre par câble. — Appareil enregistreur pour vérifier la pose des voies de chemins de fer.

Patentes.

Bibliographie. — Accumulateurs d'électricité de E. Hoppe.

Correspondance. — Machines à vapeur à grande vitesse. — Aluminium.

Variétés. — Exposition d'agriculture de Magdebourg.

Pour la Chronique et les Comptes rendus,

A. Mallet.

PARIS. — IMPRIMERIE CHAIX, 20, RUE BERGÈRE. — 2776-3-9.

LISTE

DES

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

REÇUES PAR

LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AU

1er JANVIER 1889

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES REÇUES PAR LA SOCIÉTÉ

au 1er Janvier 1889.

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BIMENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES
EN FRANÇAIS											
Académie des Sciences (Comptes rendus de l').	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Académie des Sciences, belles-lettres et arts de Clermont-Ferrand.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Aéronaute (l').	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Album de statique graphique relatif aux chemins de fer, routes nationales, navigation, etc., de la France.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Almanach-Annuaire de l'Électricité	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Annales de la Construction (Nouvelles).	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales de l'Observatoire de Nice.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Annales des Chemins vicinaux.	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales des Conducteurs des Ponts et Chaussées et des Garde-mines.	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Annales des Mines.	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Annales des Ponts et Chaussées	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales des Travaux publics.	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales du Commerce extérieur.	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales économiques.	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Annales industrielles.	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Annuaire des Mines et de la Métallurgie française.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1

Annuaire du Ministère des Travaux publics	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Annuaire des chemins de fer belges	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association amicale des anciens élèves de l'Institut du Nord	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Association amicale des anciens élèves de l'École Centrale	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Association amicale des élèves de l'École Supérieure des mines	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Association des Industriels de France pour préserver les ouvriers des accidents du travail	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Gand	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Association des Ingénieurs sortis des Écoles spéciales de Liège	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»
Association française pour l'avancement des sciences	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Astronomie (l')	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Avenir des chemins de fer (l')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Bourse Lyonnaise (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Bulletin de l'imprimerie et de la librairie	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Bulletin de l'Institut Égyptien	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Bulletin historique et scientifique de l'Auvergne	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Bulletin international de l'Électricité	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Bulletin du Ministère des Travaux publics	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Bulletin officiel de la Marine	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Bureau international des poids et mesures (Travaux et Mémoires)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Chambre de commerce de Dunkerque	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Chambre de commerce de Paris	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Charbon (le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Chronique industrielle	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Comité de géographie de Reims	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BIMENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
Comité des Forges de France	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Compagnie générale des Omnibus de Paris. Rapport au Conseil d'administration	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte d'administration des chemins de fer économiques	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte d'administration des chemins de fer de l'Est	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte d'administration des chemins de fer de l'État	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte d'administration des chemins de fer du Midi	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte d'administration des chemins de fer du Nord	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte d'administration des chemins de fer d'Orléans	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte d'administration des chemins de fer de l'Ouest	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte d'administration des chemins de fer de P.-L.-M.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte-rendu des opérations des Chemins de fer, Postes, Télégraphes et Marine de Belgique	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Compte-rendu des opérations du chemin de fer du grand central belge.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Constructeur (le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Construction Moderne (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Cosmos	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Documents statistiques relatifs aux chemins de fer français	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Droit industriel (le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	

École nationale des Ponts et Chaussées. ([illegible] aux élèves. — Légende explicative des planches.)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
École spéciale d'architecture.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Économiste (l').	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Électricien (l').	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Encyclopédie d'architecture.	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Exportation française (l').	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Fer (le).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Génie civil (le).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Industrie française (l').	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal d'Agriculture pratique.	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal de la Compagnie transatlantique.	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal de l'Éclairage au Gaz.	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Chambres de commerce	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Journal des Chemins de fer	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Mines et des Chemins de fer	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Travaux Publics	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Usines à Gaz.	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Transports.	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal général de l'Algérie (irrégulier).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal officiel.	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Machines-outils (publication industrielle des)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Monde de la Science et de l'Industrie (le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Moniteur de la Céramique, de la Verrerie, etc.	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur de la Papeterie française.	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur des Fils et Tissus.	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur des Intérêts matériels	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BIMENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
Moniteur général	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Moniteur industriel	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Nature (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Papeterie (la)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Portefeuille économique des Machines	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Ports maritimes de la France	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Revue d'Artillerie	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revue de la Législation des Mines	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Revue des Chemins de fer (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Revue du Génie militaire	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Revue générale d'Architecture	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revue générale des Chemins de fer	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revue générale des Machines-Outils et Appareils de Levage	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revue horticole	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Revue internationale de l'Électricité	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Revue maritime et coloniale	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Revue universelle des Mines	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Semaine des Constructeurs (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Semaine financière (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Service hydrométrique du bassin de la Seine (Résumé des observations sur les cours d'eau et la pluie)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	

Situation des chemins de fer français	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société académique de l'Aube	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société académique d'architecture de Lyon	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société académique franco-hispano-portugaise	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société belge d'électriciens	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société d'Agriculture de l'Aube	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société d'encouragement pour l'Industrie nationale (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société d'encouragement pour l'Industrie nationale (Compte-rendu)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Société de Géographie commerciale de Bordeaux (Bulletin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Société de Géographie de l'Est	»	»	»	»	»	»	1	»	1	»	»
Société de Géographie de Paris (Compte rendu)	»	»	»	»	1	»	1	»	»	»	»
Société de Géographie de Paris (Bulletin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Société de Géographie de Marseille	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société de l'Industrie minérale (Compte-rendu)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société de l'Industrie minérale (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société de médecine publique et d'hygiène professionnelle (Annuaire)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	1
Société de protection des Apprentis	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société de secours des Amis des Sciences	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société des Agriculteurs de France (Bulletin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Société des anciens élèves des écoles d'Arts et Métiers	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société des études coloniales et maritimes	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société des Sciences industrielles de Lyon	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société de Statistique de Paris (Journal de la)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société et Chambre syndicale des mécaniciens, chaudronniers, fondeurs de Paris (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société française de Minéralogie	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société française de Physique (Compte-rendu)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BIMENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
Société française de Physique (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société industrielle de l'Est	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société industrielle de Mulhouse	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société industrielle du Nord de la France	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société industrielle de Rouen	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Société industrielle de Reims	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société industrielle de Saint-Quentin	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Société internationale des Électriciens	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société nationale d'Agriculture de France	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société nationale des Sciences, de l'Agriculture et des Arts de Lille	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Société scientifique industrielle de Marseille	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société vaudoise des Ingénieurs et Architectes (Bulletin)	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	
Société vaudoise des Sciences naturelles	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	
Société technique de l'Industrie du gaz	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Statistique de l'Industrie minérale	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Statistique de navigation intérieure	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Sucrerie indigène (la)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Tableau du mouvement du cabotage	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Tableau général du commerce de la France	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Technologiste (le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Union des Chambres syndicales lyonnaises (Compte-rendu)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	

Union des Ingénieurs sortis de l'Université catholique de Louvain	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
EN ALLEMAND											
Akademie der Wissenschaften (Wien)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Annalen für Gewerbe und Bauwesen (Berlin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Architekten- und Ingenieur Vereins zu Hannover	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»
Centralblatt der Bauverwaltung (Berlin)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Dingler's polytechniches Journal (Stuttgart)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Jahrbücher der K. K. central Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus (Wien)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Jahrbücher der K. K. Landwirthschafts-Gesellschaft in Wien	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Niederösterreichischen Gewerbe Vereines (Wien) Wochenschrift	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Osterreichischen Ingénieur-und Architekten-Vereines (Wien) Wochenschrift	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Oesterreichische Ingenieur- und Architekten-Vereines (Wien) Zeitschrift	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Oesterreichische Eisenbahn-Zeitung (Wien)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Oesterreichische Statistik (Wien)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Organ für die Forschritte des Eisenbahnwesens (Wiesbaden)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Schweizerische Bauzeitung (Zürich)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Vereines Deutscher Ingenieure (Zeitschrift) (Berlin)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Zeitschrift für Bauwesen (Berlin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
EN ANGLAIS											
American Academie of Arts and Sciences (Boston)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
American Engineer (the) (Chicago)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
American Institute of mining engineers (New-York)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
American Society of civil engineers (New-York)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
American Society of mechanical engineers (New-York	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BIMENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES
Annual Report ofthe city engineer of Boston	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Annual Report city of Boston department of Parks	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association of engineering Societies (New-York)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
California Academy of sciences (San Francisco).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Canadian Institute (Toronto)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Engineer (the) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Engineering (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Engineering News (New-York).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Engineering association of New South Wales (the) (Sydney).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Engineering club of Philadelphia (Philadelphia).	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Franklin Institute (Philadelphia)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Indiana Society of civil engineers and surveyors (Indianapolis)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Indian Engineer (Calcutta)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Indian Engineering (Calcutta).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Industries (London and Manchester)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Industrial Rewiew (Philadelphia)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Iron (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Iron and Steel Institute (London).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Iron and Coal trades Review (London).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Institute of Technology Hoboken united states of America (New-York) .	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1

Institution of Civil Engineers (London) [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Institution of civil Engineers of Ireland (Dublin)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Institution of Engineers and shipbuilders in Scotland (Glasgow)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Institution of mechanical Engineers (London)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Master-car Builders Association (New-York)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Midland Institute (Barnsley)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Mining world (the) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Naval réserves, training, and material (Navy department) (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Navy department (Washington) (Librairy)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
North of England Institute of mining and mechanical Engineers (New-castle-Upon-Tyne)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Railroad Gazette (New-York)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Secretary to the Government of Bengale (Calcutta)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Smithsonian Report (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Society of Arts (journal of the) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Society of Engineers (London)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Society of Telegraph Engineers and Electricians (London)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
United States Naval Institute (Annapolis)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
United States Coast Geodetic survey (Report) (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
EN ESPAGNOL											
Annales de la Sociedad Rural Argentina (Buenos-Aires)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Annuario publicado Imperial observatorio do Rio de Janeiro	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Asociación central de Ingenieros industriales (Boletin de la) (Madrid)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Asociación central de Ingenieros industriales (Boletin de la) (Barcelona)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
El Ingeniero civil (Buenos-Aires)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
El Porvenir de la Industria (Barcelona)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BIMENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	[illegible] FOIS PAR AN	ANNUELLES
Industria é Invenciones (Barcelona)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Revista de obras publicas (Madrid)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revista mensal Engenharia e Industria (Rio de Janeiro)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revista Minera Metalurgica y de Ingenieria (Madrid)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Revista Technologica-Industrial (Barcelona)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Sociedad cientifica « Antonio Alzate » (Mexico)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Union industrial Argentina (Buenos-Aires)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
EN HOLLANDAIS											
Tidjschrift van het Konisklijk Institut van Ingenieurs (La Haye)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
EN HONGROIS											
Heti Értesitöje a M. Mérnök-és Épitész Egylet (Budapest)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Magyar Mérnök ès Épitész Egylet (Budapest)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Spolek architektü a inzenyrü ü Královsti Ceskeim (Prague)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
EN ITALIEN											
Atti della Reale Academia dei Lincei (Roma)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Bollettino delle opere moderne straniere (Roma)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Collegio degli Ingegneri e degli Architetti in Palermo	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»

Collegio degl' Ingegneri ed Architetti in Catania	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Giornale del Genio civil (Roma)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Industria (l') (Milano)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Politecnico (Il) (Milano)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Revista di Artiglieria e Genio (Roma)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani (Roma)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
EN POLONAIS												
Przeglad techniczny (Warsowa)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
EN PORTUGAIS												
Revista de Obras Publicas é Minas (Lisboa)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
EN RUSSE												
Ingénieur (Kieff)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Journal Ministiorstva poutioi Soobchieniia (Saint-Pétersbourg)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Zapiski Imperatorskagho Rousskagho Obstchestva (Saint-Pétersbourg)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
EN SUÉDOIS												
Ingeniörs föreningens förhandlingar (Stokholm)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Teknisk Tidskrift (Norks) (Kristiania)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Technisk-Tidskrift (Ny Följd (Stockolm)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

FEVRIER 1889

N° 2

Sommaire des Séances du mois de février 1889.

12° *L'éclairage électrique de la ville de Milan*, par M. E. Polonceau (Séance du 15 février, page 191);

13° *Les travaux en ciment avec ossature métallique*, par M. Cottancin, et observations de MM. Périssé, Polonceau et Petit (Séance du 15 février, page 194).

Pendant le mois de février, la Société a reçu :

30339—Institut technologique de Massachusetts, 24e catalogue annuel des fonctionnaires et des étudiants avec un compte rendu des cours et des instructions et une liste des élèves. (*Massachusetts Institute of technology, Twenty-Fourth annual catalogue of the officers and Students with a Statement of the courses, of the instruction and a list of the alumni 1888-1889.*) Br. in 8° de 194 p. Boston, Thomas Todd 1888.

30340—Du même. — Rapport du Président (*President's Report*). Déc. 12. 1888. Br. in-8 de 50 p., Boston, Alfred Mudge, 1888.

30341—De M. Deghilage (membre de la Société). Un volume du Dr Laffont relatif au *gaz d'eau au point de vue du combustible, de la force motrice, de l'éclairage et de l'hygiène.* Vol. in-8° de 318 p., Paris, Larousse et Cie 1889.

30342—De Mme Ve P. Soleillet (*Une exploration commerciale en Éthiopie, Obok, Le Choa, Le Kaffa*), vol. in-12 de 318 p. de M. Paul Soleillet. Paris, Dreyfous, 1886.

30343—De la même. (*Les voyages et les découvertes de Paul Soleillet dans le Sahara et dans le Soudan, en vue d'un projet de chemin de fer transaharien*), vol. de 240 p., in-12, par M. Jules Gros. Paris, Dreyfous. 1880.

30344—De M. Maurice Gerest. *De Gabès au Souf (Notes de voyage*) Br. in-8° de 34 p., Lille, Lefebvre Ducrocq, 1888.

30345—De M. Firmin Leclerc. *Almanach annuaire de l'électricité et de l'électro-chimie*, année 1889. Br. in-12 de 231 p., Paris, Firmin-Leclerc.

30346—De M. A. Vivien (membre de la Société) *Rapport de M. Vivien sur la culture de la betterave à sucre*, Br. de 15 p. in-8°. Saint-Quentin. Moureaux, 1888.

30347—De M. J. Weyrauch. *Stabilité des constructions en fer et en acier et calcul de leurs dimensions*, traduit par M. Michel Svilokossitch, vol. de 248 p., in-8°. Paris. Bernard, 1888.

30348—De l'Usine de la Vizcaya. *Collection de 5 vues photographies de l'usine de Vizcaya, à Bilbao*, données par l'usine et présentées par M. Brüll.

30349 — De M. C.-P. Sandberg.—Sandberg on the use of heavier rails for safety and economy in railway traffic (*De l'emploi des rails pesants au point de vue de la sécurité et de l'économie dans*

l'exploitation des chemins de fer). Br. de 23 p. Londres-William Clowes. 1889 (6 exempl.).

30350 — De MM. Olry et Granddemange (membres de la Société). — ***Mémoire sur les brides-cornières en fer sans soudure.*** — Br. de 13 p. Rennes-Paris. Oberthur, 1889 (6 exempl.).

30351 — De M. Ad. Bouvier (membre de la Société). ***Quelques observations sur le rendement lumineux des becs de gaz usuels.*** — Br. de 14 p. Paris. Société anonyme des publications périodiques, 1888.

30352 — De M. Miguel Pérez, vice-directeur de l'Observatorio Météorologico magnético central de Mexico. — ***Boletin Mensual.*** 10 n^os^ de janvier à octobre 1888.

30353 — De la Direction Générale des Ponts et Chaussées de Belgique. — ***Diagrammes des variations du niveau de la mer observées à l'entrée du port d'Ostende pendant l'année 1888.*** (Atlas in-folio. Bruxelles. F. Hayez. 1889).

30354 — De M. Max de Nansouty (membre de la Société). — ***L'année industrielle*** 1888, tome III, vol. in-12 de 389 p. Paris. B. Tignol, 1889.

30355 — De M. A. Bandsept (membre de la Société). ***Grand concours international des sciences et de l'industrie de Bruxelles. Notice sur le concours n° 47. Electricité.*** Br. in-12 de 143 p. Bruxelles. Imprimerie des travaux publics. 1889.

30356 — De M. F. Reymond (membre de la Société). — Calque de la ***Carte des travaux de lotissement des terrains houillers du Tonkin sur la côte,*** — dressée par M. de Vérine. — (Paris. Broise et Courtier 1889. 10 exemplaires.)

30357 à 30430 — Du Ministère de l'Agriculture et du Commerce. — 74 volumes et brochures relatifs aux ***Rapports du Jury international sur l'Exposition universelle en 1878.***

30431 — De MM. Lefèvre et Cerbelaud, membres de la Société. — ***Les Chemins de fer.*** — Vol. in-8 de 320 p. Paris. Quantin, 1889.

Les nouveaux Membres admis, sont :

Comme Membres sociétaires :

MM. J. Barrau	présenté par MM.	Gonzalez-Frossard, Muntadas et Périssé.
L. Brunck	—	Fabre, Fayollet et Lambert.
A. de Chasseloup-Laubat	—	Carimantrand, de Comberousse et Lévi.
J. Collin	—	Eiffel, Courras et Gobert.
A. Delonchamp	—	Carimantrand, Charton et Vallot.
A. Demmler	—	Carret, Chabrier et Charton.
M. Demoulin	—	Compère, Mallet et Morandière.

A. Dreyfus	présenté par MM.	A. Moreau, Bonnaterre et Donnay.
A. Grille	—	Brüll, Cotard et Grüner.
S. Herbet	—	Vigreux, Legat et Maréchal.
L. Joubert	—	Bertrand de Fontviolant, Rey et Vallot.
G. Leconte	—	Halloppeau, Freulon et Brossard.
L. Maudet-Deneubourg	—	Carimantrand, Deneubourg et Lévi.
G. Meyer	—	Brüll, Liébaut et Vernes.
L. Neu	—	Brüll, Boudenoot et Vernes.
C. Rodrigues-Ely	—	Canet, Gouilly et Boas.
P. Roncin	—	Contamin, Jousselin et Arrault.
H. Salmon	—	Lecocq, Morandière et Parent.
C. Tassart	—	De Comberousse, Carimantrand et Lévi.
E. Wiesler	—	Mallet, Hauet et Hervegh.

Comme Membres associes :

MM. V. David	—	Carimantrand, Desouches et Mallet.
E. Dormoy	—	Périssé, Knab et Couriot.
H. Driessens	—	Mallet, de Bonnard et Voisine.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE FÉVRIER 1889

Séance du 1er Février 1889.

PRÉSIDENCE DE M. G. EIFFEL

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. POLONCEAU rappelle qu'à la séance du 18 janvier dernier, la communication de M. A. Brüll sur l'application d'un nouveau système de traction par câbles, expérimenté sur le canal de Saint-Maurice par M. l'Ingénieur en chef Maurice Lévy, a donné lieu à une intéressante discussion au sujet des câbles télodynamiques. Cette discussion a fait ressortir toute l'importance qui s'attache à la construction raisonnée de ces câbles dont l'emploi ne saurait être avantageux qu'autant qu'ils sont capables de résister longtemps dans de bonnes conditions aux déformations qui résultent des efforts auxquels ils sont soumis.

M. E. Polonceau a eu l'occasion de faire étudier cette question pour les appareils assez nombreux auxquels les câbles sont appliqués dans les Compagnies de chemins de fer (appareils de levage et de manœuvre, transmissions, prolonges, etc.); il fait connaître les résultats des observations qu'il a pu faire à ce sujet et qui viennent confirmer les opinions émises par MM. A. Brüll et V. Contamin concernant la durée et la résistance des câbles. Il donne quelques détails sur les dispositions adoptées pour les grues de levage des locomotives dans lesquelles les chaînes employées primitivement avaient été remplacées d'abord par des câbles métalliques en fils de 1,5 *mm* s'enroulant sur des poulies de 250 à 300 *mm* de diamètre; ces câbles ne donnèrent pas de bons résultats. De nouvelles études conduisirent à modifier complètement les dispositions premières des appareils, et, dans le type créé en 1878, on augmenta le diamètre des poulies et l'on réduisit beaucoup celui des fils. Dans ce type, les poulies ont 600 *mm* de diamètre et le câble est formé de 7 torons triples de 7 fils, soit 2 401 fils de 0,5 *mm*, travaillant sous un effort total de 12,72 *k* seulement par mm^2 de section.

Pour les transmissions les câbles sont calculés d'une manière analogue

et l'effort de traction ne dépasse jamais 20 *kg*. Toutes les modifications d'appareils dont il vient d'être parlé ont été exécutées par notre collègue M. E. Durant, Ingénieur de la Compagnie d'Orléans.

(La note de M. E. Polonceau sera reproduite *in extenso* au *Bulletin* avec les dessins qui l'accompagnent.)

M. le Président remercie M. E. Polonceau dont les observations complètentla communication de M. A. Brüll et font voir l'avantage qu'il y a à employer des câbles a fils très fins quand on veut obtenir une durée sérieuse des câbles s'enroulant sur des poulies de petit diamètre. Il fait remarquer aussi que la formule ordinairement employée pour calculer le diamètre de la poulie indique que ce diamètre doit être environ 2 000 fois le diamètre du fil, ce qui donnerait pour l'installation dont il a été question à la dernière séance, avec un câble de 2 *mm* de diamètre, une poulie de 4 *m* au lieu de celle de 2 *m* qui est employée.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de M. Léon Netter, Ingénieur-Chef du service du matériel et des ateliers de la Société autrichienne-hongroise des Chemins de fer de l'État à Buda-Pest, membre de la Société depuis 1885. M. Netter a succombé dans le Tyrol, le 19 janvier dernier, à une maladie de poitrine de laquelle il souffrait depuis quelques mois.

M. Polonceau annonce qu'il communiquera prochainement à la Société une notice sur M. Netter, son ancien collaborateur en Autriche, qui fut un Ingénieur d'une grande modestie et d'un réel mérite et avait su se concilier la sympathie des populations autrichiennes et hongroises.

M. le Président dit que les paroles de M. Polonceau nous font d'autant plus regretter M. Netter qui était un Ingénieur français, un de ces Ingénieurs dont les mérites sont si justement appréciés à l'étranger. *(Approbation.)*

M. le Président a également le regret d'annoncer la mort de M. Sthême de Jubécourt (Barthélemy), directeur de la fabrique de faïence et porcelaine de Vaudrevange (Prusse Rhénane), membre de la Société depuis 1864, décédé à Vaudrevange le 14 janvier dernier.

M. le Président a le plaisir d'annoncer à la Société la nomination comme chevalier de la Légion d'honneur de notre collègue M. Leluben (Grégoire-Baptiste), le constructeur bien connu, qui s'est fait une spécialité de l'établissement des maisons portatives à l'usage des colonies, principalement de la Cochinchine. Il a rendu beaucoup de services dans ce genre de travaux, et la haute distinction qu'il vient de recevoir couronne dignement une vie de labeur et remplie de très utiles recherches. *(Applaudissements.)*

M. Deghilage adresse à la Société un exemplaire d'une étude sur le *Gaz d'eau* par le Dr Marc Laffont, de la Faculté de Paris.

M. le Président, en remerciant M. Deghilage de cet envoi, exprime l'espoir qu'un de nos collègues voudra bien nous donner une analyse de l'intéressant travail du Dr Laffont.

Il est donné lecture d'une lettre par laquelle Mme Vve Solbillet fait

hommage à la Société des deux derniers volumes des voyages de notre regretté collègue.

M. le Président exprime, au nom de la Société, ses remerciements à Mme Vve Soleillet.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Gruner sur *Barcelone et Bilbao (Notes techniques)*.

M. E. Gruner dit qu'il vient s'acquitter d'une mission qui lui a été confiée par notre ancien Président, M. Reymond, qui a bien voulu le charger de rendre compte au point de vue technique de quelques-unes des observations que nous avons pu faire pendant notre voyage en Espagne.

Après les communications si vivantes de MM. S. Périssé et A. Brüll, M. E. Gruner craindrait de tomber dans des redites en suivant de nouveau pas à pas les excursionnistes, mais il croirait manquer à son devoir, s'il ne venait pas à son tour et d'une façon toute spéciale remercier nos collègues espagnols pour leur accueil si empressé ; et il doit, dit-il, leur exprimer d'autant plus sa reconnaissance qu'il a davantage abusé de leur complaisance depuis son retour pour réunir les renseignements dont il va faire usage.

Au lieu de parcourir le pays, M. E. Gruner s'arrêtera seulement sur quelques points et il cherchera, pièces en mains, à décrire ce qui a été réalisé dans les vingt dernières années.

Ce qui frappe tout d'abord, aussi bien à Barcelone qu'à Bilbao, c'est la *puissance de l'initiative privée*. Tandis que le pouvoir central était affaibli par des révolutions sans cesse renaissantes, et que la situation financière s'aggravait de plus en plus, se préparaient sur deux points opposés de la Péninsule, grâce au groupement de quelques hommes énergiques et entreprenants, les projets qui ont été exécutés avec une si surprenante audace et un succès si complet.

Tandis que le crédit public était au plus bas, ces groupes librement constitués inspiraient une telle confiance qu'ils pouvaient emprunter, à un taux très satisfaisant, tout l'argent qui leur était nécessaire.

L'esprit provincial a pu faire du mal dans bien des cas en Espagne ; mais certainement le relèvement actuel a son point de départ dans l'initiative hardie de ces deux provinces : la Catalogne et la Biscaye qui ont su faire trève aux dissentions politiques pour développer leurs forces productives.

M. E. Gruner dit qu'il a rencontré dans ces deux centres de Barcelone et de Bilbao tant de sujets intéressants d'étude, tant de faits et de résultats qui méritent d'être mis en lumière qu'il a été amené à rédiger un exposé dont la lecture dépasserait de beaucoup les limites du temps qui peut être consacré à un pareil sujet en séance.

Il se contentera donc de présenter un rapide résumé des principales questions qui ont attiré son attention.

A Barcelone, comme à Bilbao, il n'existait il y a 25 ans, qu'un port d'un accès difficile fermé par une barre dangereuse. Le tirant d'eau manquait à l'entrée, et une fois la barre franchie, les navires ne trouvaient pas encore d'abri sûr pour se réfugier en cas de mauvais temps.

L'État comprenait l'importance des travaux à exécuter, il préparait bien des plans; et il établissait des taxes spéciales dont les revenus devaient être affectés à ces travaux. Mais son autorité était si précaire que les taxes rentraient mal, et le peu qui arrivait au trésor public était affecté aux besoins généraux du pays, malgré le but précis de leur perception.

A ce mal profond, l'initiative privée apporta un remède efficace: à Barcelone comme à Bilbao, les principaux intéressés groupés, sans distinction d'opinion politique, obtinrent du gouvernement l'autorisation de se constituer en Comité des Travaux (*Junta de Obras*), et lui imposèrent l'obligation de faire abandon jour par jour des sommes provenant des taxes spéciales.

Ces Juntas renoncèrent à demander au gouvernement une subvention, mais par contre obtinrent le droit de contrôler les perceptions, et chaque soir d'en retirer le montant pour le verser à une banque privée.

Ce sont ces Juntas, armées de ces droits financiers, qui ont fait exécuter les plans approuvés par le gouvernement, et ont pu faire appel au crédit dans les conditions les plus avantageuses.

A Barcelone, la Junta a poursuivi la jetée Est, a construit la jetée Ouest, a dragué la passe et le port tout entier, a construit les quais et rasé la muraille de mer. C'est elle qui a installé sur tous les quais les voies ferrées, qui a établi tout le système de grues hydrauliques qui peuplent les quais.

Par un goulet large de 280 *m* on accède dans un avant-port de 61 *ha*, et de là on passe dans un port de commerce qui a 43 *ha*, ou dans la darse de l'industrie qui a 14 *h*.

Partout existe la profondeur de 7 et 8 *m*, et la plus grande partie de l'avant-port possède des fonds de plus de 10 *m*, aussi a-t-on pu y voir simultanément en 1888 les escadres cuirassées de toutes les grandes nations européennes.

Quand tous les projets seront exécutés, l'étendue du port ne sera pas augmentée, mais la longueur des quais sera beaucoup plus grande.

Les hangars couverts occuperont tous ces quais qui seront tous desservis par des voies ferrées, et qui seront tous pouvus de grues hydrauliques.

Dans une série de tableaux, M. E. Gruner a groupé les renseignements extraits des rapports annuels de la Junta; on y constate que les recettes ordinaires ont passé en 10 ans de 500 000 *f* à 1 600 000 *f*, et les dépenses ont été toujours surveillées avec tant de soin qu'il a suffi de faire appel au crédit pour la somme de 4 millions de francs; et déjà plus de un million et demi est remboursé.

Tel qu'il est, le port semble déjà capable de répondre pour de longues années aux besoins du commerce; et on peut se demander quand on voit ce puissant outillage si peu employé, s'il est bien opportun de l'augmenter encore plutôt que d'achever de rembourser la faible dette et de dégrever largement les marchandises à leur entrée.

Car il faut bien s'en rendre compte, Barcelone est presque exclusivement un port d'importation; il alimente cette province de Catalogne la plus industrieuse de l'Espagne.

M. E. Gruner n'a pu faire de ces industries qu'une très rapide étude, mais

il a cependant cru devoir s'arrêter un peu plus longuement sur l'une d'elles: la construction maritime, d'autant plus qu'on rencontrait, à ce propos, la grosse question qui a passionné l'opinion publique en Espagne l'été dernier ; la construction *en Espagne*, dans des usines *espagnoles*, avec des matériaux *espagnols*, de la nouvelle flotte de guerre.

A Barcelone, nos collègues ont visité les grands ateliers de la *Maquinista* qui sont appelés à fournir à ces croiseurs cuirassés leurs machines et leurs chaudières; et à Bilbao, ils ont pu voir les équipes de terrassiers occupés à creuser les fondations des chantiers d'où doivent sortir, avant trois ans, l'engagement est formel, trois grands cuirassés entièrement armés.

Il a fallu passer bien rapidement sur l'Exposition universelle, le prétexte, sinon le but de l'excursion. Mais au moins est-il bon de rappeler une observation qui a été faite de bien des côtés : « Pourquoi donc ne voyons-nous pas les industriels français, tandis que nous sommes assaillis d'offres des autres pays? »

Si la France a perdu là-bas, en Espagne, une partie de sa clientèle, c'est qu'elle a négligé de la tenir en haleine tandis qu'elle était circonvenue par les étrangers.

L'Exposition a été un triomphe pour beaucoup d'industries françaises; mais ce succès ne sera qu'un feu follet si des efforts continus ne sont pas faits pour resserrer les liens relâchés.

Sans pouvoir s'arrêter à admirer le paysage des environs de Barcelone, ni à retracer les belles excursions qui y furent faites, M. E. Gruner traverse rapidement l'Espagne et il arrive à Bilbao.

Les nombreux documents qu'a bien voulu lui confier l'éminent directeur des travaux maritimes, M. de Churruca, lui ont permis de faire ici le même travail qu'à Barcelone, de résumer en une série de tableaux les recettes et les dépenses; d'apprécier le rôle minime qu'a joué l'appel au crédit; et jalonner, année après année, les progrès du tirant d'eau sur la barre.

M. E. Gruner passe d'autant plus rapidement en séance sur cette partie du sujet qu'il a déjà été fait, il y a quelques semaines, un rapide exposé des résultats obtenus.

M. E. Gruner arrive donc de suite aux mines.

Il met sous les yeux de la Société quelques échantillons de minerais dus à l'obligeance de notre collègue, M. Demanest, qui continue à se mettre à notre disposition ici, après avoir été notre guide si dévoué à Bilbao.

M. E. Gruner regrette de n'avoir pas ici un type du minerai que seuls exploitaient les anciens, de la *Vena dulce;* peroxyde anhydre, légèrement argileux, friable, très riche quand il est sec. C'est lui qui était seul employé aux forges catalanes, aux fours Chenot et autres. C'est celui qui fournit si facilement le fer directement sans carburation ni fusion.

Voici, dit M. E. Gruner, le *Campanil*, le minerai des hauts fourneaux de la première heure; l'appât qui a attiré l'étranger sur la proie qu'il continue à déchiqueter avec tant d'ardeur. C'est du peroxyde anhydre, compact, légèrement calcaire, et un peu siliceux en même temps. La gangue est fusible par elle-même ; le minerai est poreux, il se réduit si

facilement, que les plus petits hauts fourneaux au charbon de bois fournissaient tous de la fonte grise parfaitement régulière.

Voici maintenant divers échantillons de *Rubio*, le minerai actuel, le minerai dont chacun doit se contenter, bien heureux encore s'il l'obtient pur, c'est-à-dire à 10 et 12 0/0 de silice, et non à 18 et 20 0/0 de silice.

Ce qui est fréquent, c'est le minerai qui recouvre tout le pays, c'est le peroxyde hydraté dont la couleur brune colore les collines.

La *Vena* proprement dite ou *Vena dulce* n'est plus qu'un souvenir; le *Campanil* n'existe plus que sur quelques rares points, et en faible quantité ; actuellement tout l'effort de la production se porte sur le *Rubio*, le seul dont il subsiste encore des quantités importantes, ou sur le *Rubio avenado* mélange de Rubio et de Vena.

Voilà enfin le minerai de l'avenir, le *Carbonate*, qui rend cru 40 à 42 et grillé 54 à 56 0/0.

Comment expliquer la forme qu'a prise l'exploitation à Bilbao; la multiplicité des moyens de transports, la vogue des transports aériens.

Une rapide étude de la législation minière espagnole donne la clef de tous ces problèmes.

L'ancienne concession de mines, en vertu de la loi de 1825, n'avait pas même 1 *ha* 1/2 ; et celle qui résulte de la loi de 1868 en a quatre. Toute la masse centrale du Somorrostro a été concédée avant 1868, et débitée en petits lopins de 1 *ha* 1/2. Les collines voisines, dont l'importance n'a apparu que plus tard, ne sont guère moins morcelées en raison de la loi de 1868.

Toute l'explication du mode d'exploitation, du gaspillage de la richesse minérale, de l'accumulation de moyens coûteux de transport, est dans l'application de cette loi, qui parait si brillante par l'activité qu'elle amène aux premiers jours de la découverte d'un gite mais qui est si funeste quand il s'agit de tirer parti d'un gite profond, difficile, irrégulier.

Tel a été un peu le cas à Bilbao; malgré la beauté du gite, il se produisait des déblais, où les mettre? on les a déposés sur le gite même, faute de posséder un accès vers le dehors ; le commerce demandait sans cesse des minerais à 54 souvent même 56 0/0 ; où empiler tous les minerais à teneur moindre, en attendant des exigences moins rigoureuses ? l'espace manquait, on les a jetés au remblai.

Et le minerai riche, comment le sortir d'un trou cerné de tous côtés par des rivaux, la loi ne réservant pas le droit de passage ; il n'y avait d'autre moyen que de recourir à la voie aérienne.

Les câbles Hodgson, Bleichert, Otto ne sont donc que des pis aller.

Les grandes Compagnies qui se sont formées depuis quelques années en groupant à grands frais un certain nombre de concessions nous montrent de remarquables solutions de problèmes difficiles; mais elles n'ont pu réaliser des solutions simples. Elles ont résolu dans les meilleures conditions des problèmes difficiles résultant de l'obligaion de serpenter de petites concessions en petites concessions, en utilisant le meilleur parti possible des ondulations du terrain.

L'ensemble des voies de la Orconera de la Franco-Belge montrent à cet égard deux solutions des plus ingénieuses; la Orconera grimpe à 200 *m* avec son chemin de fer, et cherche à desservir les chantiers par

les wagons qui iront aux appontements; la Franco-Belge cherche à maintenir son chemin de fer dans la vallée (50 *m*), et par le groupement alternatif de plans inclinés, de chaînes flottantes et de voies ferrées à traction par machines, elle arrive à un travail des plus économiques.

M. E. Gruner aurait voulu traiter à fond cette question des transports dans son travail. Mais il compte pour cela sur MM. Demanest et Benoit qui ont promis de nous donner à bref délai une étude complète de leur système de transport.

Les tableaux graphiques présentés par M. E. Gruner montrent l'incroyable accroissement qu'à pris l'exploitation qui a dépassé 4 1/2 millions de tonnes en 1887. Mais on y remarque une chute brusque en 1888, l'exportation par la rivière de Bilbao a baissé de 600 000 *t*, et pourtant les tableaux font voir qu'elle a doublé en deux ans au Dicido, et en un an à Saltacaballo.

Les demandes n'ont pas diminué, bien loin de là; les prix ont haussé.

Si l'exportation a fléchi, c'est que le gite ancien n'est plus en état de satisfaire à toutes les demandes.

Une rapide promenade sur le Somorrostro a d'ailleurs éclairé M. E. Gruner à ce sujet : le gite central, celui de Campanili est épuisé ou bien près de l'être. L'activité doit rayonner, s'étendre sur tous les épanchements de Rubio; il faut remanier les vieux tas de déblais et en tirer ce qui était méprisé il n'y a que deux ou trois ans.

Le gite de Bilbao a triomphé en 1887. Sa production va se réduire progressivement, et il faut s'attendre à voir tomber à deux millions ou deux millions et demi la production de l'ancien centre d'exploitation.

Un complément important sera fourni par les gisements du haut de la vallée du Nervion, mais il semble probable qu'avant peu il ne sortira plus de la rivière que trois millions de tonnes au maximum.

Mais à l'activité minière va se substituer un autre genre d'activité : la métallurgie a végété jusqu'en 1883; peu à peu depuis cette date se sont créées les usines à fonte et, en 1888, il a déjà été produit dans les trois usines de Altos-Hornos, de San-Francisco et de la Viscaya 200 000 *t* de fonte.

Cette production est appelée a se développer rapidement, surtout parce qu'elle permet l'emploi de cette masse de minerais à 46 et 48 0/0 qui ne peuvent guère supporter les frais de transport à grande distance.

Une étude attentive des prix de revient des minerais et des cokes a permis à M. E. Gruner de conclure que si le prix de revient des fontes a été de 48 francs et 50 francs, il est déjà tombé au dessous de 46 et atteindra sans doute 44 francs. On voit donc l'important bénéfice qui pourra longtemps être réalisé sur les fontes; et on peut prévoir la création à bref délai de nouveaux hauts fourneaux.

M. E. Gruner est par contre beaucoup moins persuadé que les fabrications de fer et d'acier soient appelées à un grand avenir. La main-d'œuvre spéciale manque; les consommateurs seront, pendant longtemps, peu nombreux en Espagne et les frais généraux pèseront lourdement s'il s'agit d'aller lutter pour l'exportation.

Mais pour expliquer la fièvreuse activité qui règne depuis un an dans toutes ces usines, il faut se reporter à ce qui a été dit à propos de Bar-

celone. L'amour-propre national s'est réveillé; l'Espagne veut arriver à posséder elle-même le moyen de produire toutes les matières premières entrant dans les grands cuirassés; elle veut les construire elle-même, dans ses ports, avec ses matériaux.

L'usine de San-Francisco a obtenu la commande de trois croiseurs cuirassés à livrer dans trois ans. Au moment où nous passions à Bilbao, dit M. E. Gruner, plusieurs semaines étaient écoulées déjà depuis la conclusion de ce marché exécutable à si court délai, et quatre hauts fourneaux de moyenne taille étaient les seuls éléments de l'usine de San-Francisco.

On ne peut qu'admirer l'audace de ceux qui comptent, avant trois ans, faire sortir de bassins non encore creusés et d'ateliers dont les projets sont à peine tracés, trois grands navires équipés et armés pour la guerre.

M. E. Gruner dit en terminant qu'aussi bien à Barcelone qu'à Bilbao, nous avons pu applaudir au réveil d'une nation sœur qui marche à grands pas dans la voie de la grande industrie. *(Applaudissements.)*

A une observation de M. Lippmann, M. E. Gruner répond que le *Campanil* est encore exploité sur quelques points, mais que son épuisement est très prochain, et que le gisement de ce minerai est stratifié dans le calcaire; on a exploité une demi-lentille qui se trouvait à flanc de coteau; pour atteindre l'autre qu'on croit reportée à une profondeur de 40 à 50 *m*, il faudrait exécuter des travaux souterrains que le bas prix actuel des minerais n'a pas encore permis d'entreprendre.

M. E. Polonceau dit qu'il ressort de la communication très intéressante de M. Gruner deux faits économiques sur lesquels il lui paraît important d'insister.

Le premier, c'est qu'à Barcelone, l'initiative privée, grâce à de grandes libertés, est arrivée à faire de très grands travaux rapidement et économiquement, résultat dû évidemment à l'absence de règlements restrictifs.

Le second, c'est qu'à Bilbao, grâce à une législation minière défectueuse, on a entravé l'industrie des mines et que le développement de cette contrée, par suite de l'exploitation des mines, n'a été obtenu que malgré ces règlements qui ont été causes des grandes dépenses.

M. le Président félicite M. E. Gruner d'avoir bien voulu nous donner un travail aussi complet qui vient s'ajouter à ceux que nous a déjà valus cet utile voyage d'Espagne. M. le Président croit être l'interprète des sentiments de la Société en remerciant M. E. Gruner de sa très intéressante communication qui sera insérée *in extenso* dans le Bulletin et envoyée aux Ingénieurs espagnols qui nous ont fait un si cordial accueil, et ont mis tant d'empressement à nous communiquer tous les documents utiles. *(Vifs applaudissements.)*

L'ordre du jour appelle la communication de M. L. Boudenoot, relative à un Mémoire de M. E. Daujat sur *l'Exploitation de la distribution de la force motrice au moyen de l'air raréfié*, et aux installations nouvelles de l'usine de la rue Beaubourg.

M. L. Boudenoot dit que ce sujet a déjà été traité plusieurs fois à la Société des Ingénieurs Civils qui a paru porter un très grand intérêt à cette question, à la fois sociale et industrielle, d'une importance capitale

pour la petite industrie parisienne et pour d'autres petites industries françaises répandues à Lyon, Grenoble, Saint-Etienne, etc.

Il rappelle qu'en 1885 il a exposé l'origine et les débuts de l'entreprise réalisée dans l'usine de la rue Beaubourg qui a été la première où l'on ait pratiqué, en France, la distribution, au domicile même des ouvriers en chambre, de la force motrice dont leurs outils ont besoin.

Depuis lors, d'autres entreprises du même genre ont été tentées, mais sans revêtir, comme celle-là, le caractère qui la distingue tout particulièrement et en fait le précieux auxiliaire de la petite industrie, dont elle a amélioré l'outillage, abaissé les prix de revient, et à qui elle a rendu plus facile la lutte contre la concurrence étrangère. Quel que soit l'avenir réservé à ces diverses tentatives, il est intéressant de rappeler quels ont été les initiateurs du mouvement, de revendiquer pour eux la priorité qui leur est due et l'honneur qui s'y attache; et M. L. Boudenoot se félicite d'avoir été l'un des fondateurs de l'usine de la rue Beaubourg avec M. A. Petit, membre de notre Société et promoteur du système de transmission pneumatique.

Quand le Président de la Société des Ingénieurs Civils visita l'usine avec quelques-uns de nos collègues en 1885, une quinzaine de moteurs à air fonctionnaient chez les premiers abonnés, et le vide était maintenu par une machine aspirante. Aujourd'hui il y a 120 à 150 moteurs de 1/2 cheval, un cheval et 1 cheval 1/2, placés à 7 ou 800 *m* à la ronde; il y a trois machines aspirantes de 90 à 100 chevaux; de plus, il y a une machine à vapeur de 110 chevaux qui actionne 2 dynamos alimentant 1 200 à 1 500 lampes électriques placées dans le voisinage.

L'expérience de ces trois années a montré l'utilité de modifier certaines pièces des machines aspirantes, de la canalisation et des moteurs à air. et de créer divers instruments de réglage pour le service de l'exploitation.

Le Mémoire de M. E. Daujat décrit ces divers perfectionnements. Pour les bien faire comprendre, M. L. Boudenoot rappelle que le principe du système consiste à entretenir un vide de 70 0/0 environ, au moyen de machines aspirantes, dans une canalisation qui aboutit par des colonnes montantes aux moteurs à air placés chez la clientèle, où ils sont mis en mouvement par l'excès de la pression atmosphérique sur celle de la canalisation.

M. Boudenoot expose que parmi les divers agents de transmission de force, câbles, vapeur, eau sous pression, gaz, électricité et air, ce dernier seul est à considérer quand il s'agit non seulement de transmettre la force, mais encore de fractionner la force transmise et de la distribuer.

L'électricité, en effet, peut être considérée comme l'agent par excellence du transport de grandes forces à de grandes distances. Pour l'air, on peut le comprimer ou le raréfier. Mais si l'air comprimé a son emploi tout indiqué quand il s'agit d'une force moyenne à transmettre tout entière en un point donné ou en quelques points sans division trop multiple. comme dans les mines et les tunnels, l'air raréfié est préférable lorsqu'il s'agit à la fois de transmettre la force à une petite distance et de la diviser en parcelles.

C'est la conclusion à laquelle est arrivé M. Piarron de Mondesir qui s'était occupé tout spécialement de l'air comprimé au point de vue thé-

orique et pratique et qui, après avoir visité l'usine de la rue Beaubourg, reconnut, dans une communication faite à notre Société en novembre 1885, que « pour les petites forces motrices nécessaires à l'industrie en » chambre il est préférable d'employer l'air raréfié ».

Ce savant ingénieur a fait en outre remarquer que le système de l'air raréfié est hygiénique parce qu'il renouvelle l'air de la chambre de travail, avantage qui n'est pas à dédaigner dans les logements-ateliers si souvent étroits et malsains. Quant au rendement, l'air raréfié donne 40 à 45 0/0 dans des conditions où l'air comprimé rend 18 à 22 0/0.

Revenant au Mémoire de M. E. Daujat, M. L. Boudenoot passe en revue les divers points qui y sont traités.

A l'usine centrale, on a substitué, dans les cylindres à air, aux pistons à garnitures en caoutchouc des pistons à segments en bronze.

La garniture des premiers s'usait vite; une communication s'établissait entre les deux faces du piston ; les parcelles de caoutchouc s'agglutinaient avec les poussières aspirées et bouchaient les grilles des clapets. Avec le bronze, le premier inconvénient a disparu; le second a diminué; seulement on ne peut empêcher les poussières aspirées de former encore des dépôts, moins gênants qu'autrefois, mais qu'on doit rendre inoffensifs en nettoyant trois ou quatre fois par an les grilles des clapets.

M. L. Boudenoot dit que l'existence de ces poussières conduit à préférer, pour l'aspiration, des machines à soupapes aux machines à tiroir.

M. A. Petit et lui ont examiné à nouveau cette question il y a quelque temps, sollicités par une brochure de M. Weiss, Ingénieur à Bâle, traduite par M. Alfred Pache, Ingénieur à Mulhouse, et dans laquelle on préconise les machines à tiroir sous prétexte qu'on peut, avec elles, aller plus vite et diminuer l'influence des espaces nuisibles.

Le premier fait est exact; le second est douteux, car si l'on diminue la capacité de l'espace nuisible, on en multiplie l'action en faisant marcher la machine plus vite. D'ailleurs, comme les poussières viendraient se placer dans les canaux et sur la glace du tiroir, on aurait à craindre des grippements et un mauvais fonctionnement, ce qui produirait des inconvénients plus fâcheux que ceux de la machine à soupape.

MM. A. Petit et L. Boudenoot ne sont pas non plus de l'avis de M. Weiss qui combat l'injection d'eau dans les cylindres à air et préconise le refroidissement par surfaces extérieures; ils considèrent ce dernier comme inefficace à moins d'une énorme dépense en eau, et comme exigeant des enveloppes trop volumineuses dans le cas de l'air raréfié.

Ils concluent donc à l'emploi des cylindres aspirants à soupape, avec injection d'eau pulvérisée, et admettent que les pompes à vide doivent marcher lentement.

Reprenant ensuite l'analyse du Mémoire, M. L. Boudenoot décrit le principe du *Manomètre de vide avertisseur* ; appareil qui permet de régler la marche des machines de telle sorte que le vide soit constant aux extrémités de la canalisation, malgré les variations du travail chez les abonnés et par suite celles des pertes de charges, c'est-à-dire de la pression, dans les conduites.

M. L. Boudenoot décrit le *Totalisateur enregistreur de tours*, appareil qui fait connaître heure par heure les variations de travail de la clientèle, et

le nombre total de tours fait chaque mois par les machines, c'est-à-dire en somme le travail effectué pour produire la force, qu'on peut alors mettre en regard des recettes mensuelles, c'est-à-dire en somme du travail utilisé et payé.

Ces appareils, ainsi que les indicateurs de vide et pneumographes, placés à l'usine et en divers points des conduites, constituent un ensemble d'appareils de contrôle très utiles.

M. L. Boudenoot raconte, d'après le Mémoire, comment on s'est aperçu, après quelques jours de marche simultanée des trois machines, d'un phénomène surprenant dans le système de l'air raréfié ! On avait de l'eau dans les conduites ! Mais c'est qu'on l'y mettait soi-même, sans y prendre garde.

Lorsque, vers le soir, on arrêtait la troisième machine, on ne l'isolait pas des autres, et celles-ci aspiraient son eau d'injection qui passait dans les réservoirs et de là dans la canalisation. Il a suffi d'isoler la machine arrêtée pour faire disparaître cet effet anormal et gênant.

Sur le calcul des pertes de charges que développe le Mémoire, M. L. Boudenoot se contente de dire que la formule de Stockalper, $J = \alpha Q^2 \delta$, se vérifie approximativement dans la pratique.

A propos des moteurs, il rappelle qu'au début on a essayé trois types : oscillant, rotatif, à fourreau. On n'a gardé que le dernier, et l'on se sert actuellement de :

Moteurs à fourreau dits de 100 *kg*, qui donnent plus de 1 cheval 1/2
— 50 — près de 1 cheval
— 25 — de 1/2 cheval.

On les essaie tous à l'usine avant de les placer en ville. De ces essais il résulte qu'un moteur à fourreau de 50 *kg*, par exemple, a permis d'établir le tableau suivant :

MARCHE	DÉPENSE D'AIR PAR MINUTE	PRESSION	FORCE DONNÉE dans LE CYLINDRE	FORCE DONNÉE AU FREIN	D'OÙ UN RENDEMENT ORGANIQUE
	litres	atmos.	kilogramm.	kilogramm.	
A faible charge.	7	de 0,282	49,50	33,58	68 0/0.
En charge moyenne . .	11	— 0,414	67,66	54,86	81 0/0
En pleine charge ou normale.	16	— 0,540	81,25	71	88 0/0

Ces résultats, qui sont sensiblement les mêmes pour tous les moteurs essayés, sont très satisfaisants.

Telles sont les conditions dans lesquelles fonctionne la distribution de la force motrice à domicile par l'air raréfié, et tels les progrès réalisés dans son exploitation, qui a été encouragée par un grand nombre d'ingénieurs et de techniciens, et plusieurs Sociétés savantes, et qui a obtenu le prix des petits moteurs décerné par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale.

M. L. Boudenoot ajoute qu'il espère que ce système se répandra dans

d'autres quartiers de la capitale que celui de la rue Beaubourg et aussi dans d'autres villes que Paris.

Déjà diverses personnes autorisées, venues des villes de Lyon, Grenoble et Saint-Étienne avaient, les années précédentes, visité cet établissement et emporté le désir de suivre l'exemple qui y est donné.

Jusqu'à ces derniers temps, il n'avait pas été donné suite à ces projets. Mais aujourd'hui il est permis d'espérer que Saint-Etienne aura bientôt une distribution de force motrice destinée aux ouvriers passementiers qui, on le sait, travaillent chez eux et n'ont d'autre moteur que le bras pour actionner leurs métiers, ce qui n'est pas sans créer un danger pour la santé et la vigueur du corps, et une lassitude funeste à la production.

Après une visite rendue à l'usine de la rue Beaubourg, M. le maire de Saint-Etienne a appelé M. A. Petit pour étudier la question sur place et nous a chargés de préparer un projet sur les bases suivantes : utilisation des forces hydrauliques naturelles que laisse libres l'amenée d'eau à Saint-Étienne du barrage de Rochetaillée ; et distribution de ces forces à l'industrie locale. On peut espérer que cet exemple, s'il amène de bons résultats pour les passementiers de Saint-Etienne, sera suivi par les canuts de Lyon et les gantiers de Grenoble.

M. Boudenoot termine sa communication par la description des installations réalisées récemment rue Beaubourg en vue de l'éclairage électrique. Il rappelle que, dès 1885, il avait prévu cette extension de l'usine et indiqué qu'il y avait lieu de rechercher le moyen de faire travailler le plus possible, la nuit comme le jour, les appareils de production de force ou tout au moins de vapeur.

On a d'abord essayé d'utiliser, pour l'éclairage électrique, les moteurs à air placés chez la clientèle en leur faisant actionner des dynamos alimentant des lampes, comme il en existait déja qui alimentent de petites machines dynamos dont le courant sert à la galvanoplastie.

Mais la clientèle de la lumière n'est pas la même que celle de la force; et il aurait fallu, pour chaque installation d'éclairage, placer tout exprès chez le client à la fois une dynamo et ses accessoires et un moteur à air pour actionner cette dynamo. C'eût été un système anti-économique et impraticable.

On en est donc venu à s'aboucher avec des électriciens qui ont installé dans l'usine de la rue Beaubourg une machine à vapeur et des dynamos, qui font la distribution de l'éclairage au moyen de câbles comme cela se pratique ordinairement, et qui louent l'emplacement et la force qui leur sont donnés.

En somme, l'électricité joue là le rôle d'un abonné à la force motrice, et ne diffère des clients ordinaires qu'en ce qu'elle en est un beaucoup plus important que les autres et en ce que la force lui est livrée sous forme de vapeur et non sous forme d'air raréfié.

L'installation du service d'éclairage de la rue Beaubourg comprend :

Une machine Corliss horizontale de 110 chevaux ; deux dynamos Gramme de 370 ampères et 110 volts; les transmissions nécessaires ; une canalisation disposée pour une distribution de 200 volts à trois conducteurs; les lampes des abonnés.

En ce qui concerne la machine à vapeur et ses accessoires, c'est

M. A. Petit qui a conduit les travaux; l'installation de l'appareillage électrique a été faite par M. Tschirret, qui dirige le service d'éclairage. MM. Tschirret et Fuchs, constructeurs à Puteaux, ont fourni tout le matériel électrique.

En finissant, M. L. Boudenoot remercie l'assistance de la bienveillante attention qui lui a été prêtée et informe les membres de la Société des Ingénieurs Civils que ses collègues de l'usine et lui se mettent à la disposition de ceux d'entre eux que pourrait intéresser la visite de l'usine de la rue Beaubourg, où se pratique ainsi une double distribution de force et de lumière. *(Applaudissements.)*

M. le Président dit que l'attention bienveillante de la Société prouve l'intérêt qu'elle porte à chacune des communications de M. L. Boudenoot; il le remercie particulièrement de celle qu'il vient de faire, et qui consacre le succès d'une tâche laborieuse à laquelle M. L. Boudenoot apporte son concours dans le but de rendre surtout un véritable service social. La Société des Ingénieurs civils ne peut que s'associer à cette idée et désirer que la propagation de ce mode de distribution économique de la force se généralise, grâce aux efforts de M. L. Boudenoot et de ses collègues, dans tous les centres industriels. *(Applaudissements.)*

La séance est levée à dix heures trois quarts.

Séance du 15 Février 1889.

Présidence de M. G. Eiffel.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de M. Ernest-Louis-Pierre Leblanc, ancien maître des requêtes au Conseil d'État, chevalier de la Légion d'honneur, membre de la Société depuis 1883, décédé le 2 février 1889.

Il fait connaître que, par arrêté en date du 31 janvier 1889,
MM. Bresson, Georges,
Dujardin-Beaumetz,
Gruner, Edouard,
ont été nommés membres du Congrès international des mines et de la métallurgie.

M. Cacheux, Émile, a été nommé membre du comité d'organisation du Congrès international des accidents du travail.

M. le Président donne communication d'une lettre de M. le Président de la Société de Géographie annonçant qu'à l'occasion de l'Exposition universelle de 1889, elle a organisé un congrès qui se tiendra du 5 au 11 août 1889, dans son hôtel, boulevard Saint-Germain, 184; une séance solennelle aura lieu au Trocadéro. Le droit d'entrée à ce Congrès est fixé à 40 *fr*. pour les *membres donateurs* et *à* 20 *fr*. pour les *membres titulaires*.

M. Casalonga présente la communication suivante sur *La nouvelle loi suisse du 29 juin 1888, sur les brevets d'invention*:

Bien que les questions relatives à la propriété industrielle semblent sortir du cadre ordinaire de nos travaux, néanmoins plusieurs de vos collègues vous ont déjà, à diverses reprises, entretenus de ces questions et vous leur avez toujours prêté une bienveillante attention.

C'est que vous avez compris que la propriété industrielle, celle notamment qui est régie par des brevets d'invention, et qui demande toujours l'intervention de l'Ingénieur, se lie étroitement aux progrès de l'industrie, et par là à notre profession.

Ce genre de propriété a été contesté, combattu même, par certains économistes, dont quelques nations avaient, jusqu'en ces derniers jours, adopté les décevantes doctrines.

Aujourd'hui, en Europe, sauf la Hollande et la Grèce, et quelques-unes des royautés ou principautés avoisinant le Danube, toutes les nations ont maintenu, ou inauguré et organisé la protection des inventions industrielles.

La Suisse est une des dernières qui ont accompli cette œuvre de réparation. Après avoir de nouveau consulté le peuple, devant lequel elle avait échoué une première fois en 1882, l'Assemblée fédérale de ce pays vient enfin de voter une loi sur les brevets d'invention. Cette loi, datée du 29 juin dernier, complétée par un règlement du 12 octobre passé, et un arrêté du 26 du même mois, vient d'être mise en application depuis le 15 novembre 1888.

C'est de cette loi, dont je dépose un exemplaire du texte officiel, que j'ai à vous entretenir, en passant très rapidement sur ce qui est relatif à certaines formalités à remplir, analogues à celles suivies en France et ailleurs.

La taxe de 20 fr. pour la première année, avec une égale taxe dite de dépôt, progresse de 10 fr. par an; elle est de 160 fr. pour la quinzième et dernière année.

Il y a trois sortes de brevets. Le brevet provisoire, le brevet définitif, le brevet additionnel, celui-ci équivalant au certificat d'addition français, avec même taxe. Le brevet doit se terminer par un résumé.

Un brevet est accordé à titre *provisoire* lorsque, dans la demande qui en est faite, on n'a pas joint à la description et aux dessins, en double, à la taxe et au bordereau des pièces, la *preuve* qu'il existe *un modèle* de l'objet inventé ou que ce modèle lui-même existe.

Un tel brevet doit être transformé en un brevet définitif, par la pro-

duction, dans un délai de deux ans au plus, de la preuve ci-dessus stipulée.

La loi suisse, par le fait, accorde donc une protection provisoire d'une durée de deux ans, pendant laquelle, toutefois, la contrefaçon ne peut être réprimée, ce qui ne manque pas d'inconvénients. Elle imite, en cela, la protection provisoire anglaise, qui n'est que de neuf mois, mais qui reste secrète, tandis que le brevet provisoire suisse, de même que le brevet définitif, est publié « sans retard ». Un inventeur peut cependant obtenir l'ajournement de la publication de son brevet, pendant six mois, au cours desquels la contrefaçon ne pourra pas être empêchée.

Un inventeur, s'il est domicilié en Suisse, qui ferait la preuve qu'il est sans ressources, pourra être exonéré du paiement des trois premières annuités de son brevet.

Si un inventeur néglige de payer à l'échéance une annuité due, le bureau fédéral de la Propriété industrielle lui donnera immédiatement, mais sans y être obligé, avis que la taxe est échue. L'inventeur pourra payer cette taxe dans les trois mois qui suivent la date de l'échéance.

Cette disposition, aujourd'hui adoptée dans plusieurs lois sur la matière, contraste avec la rigueur de notre loi qui n'admet aucun moyen, hormis le cas de force majeure, de relever le brevet déchu par défaut de paiement de l'annuité, à l'échéance.

Le brevet suisse tombe en *déchéance;* si le propriétaire y renonce; si la taxe n'en est pas payée dans les délais; si l'invention n'a reçu aucune application avant l'expiration de la troisième année; enfin, si l'objet étant importé, le propriétaire du brevet a refusé des demandes de licences suisses présentées sur des bases « équitables ».

La Suisse impose donc, après trois ans, la licence obligatoire et cette obligation s'étend, réciproquement, à tout premier inventeur et au perfectionneur de la première invention. En outre, l'Assemblée fédérale pourra prononcer l'expropriation d'un brevet pour cause d'utilité publique.

Un brevet suisse sera *nul;* si l'invention brevetée n'est pas nouvelle ou non applicable à l'industrie; si le breveté n'est pas l'inventeur ou son ayant cause; si le titre ne se rapporte pas à l'objet du brevet; si la description est incomplète.

Les tribunaux statuent sur les cas de nullité, de déchéance, de contrefaçon, et aussi, dans le cas de licences obligatoires, pour apprécier l'équité des bases offertes, le montant des indemnités, les garanties à fournir.

La loi ne précise pas si ce seront les tribunaux qui auront à statuer sur les cas de complexité, résultant de ce qu'un brevet ne peut être demandé que pour un objet principal, ou si ce soin incombe au Bureau fédéral, comme il incombe, ici, à notre administration française. Elle ne stipule rien de précis non plus, à ce sujet, dans les cas de rattachement du brevet additionnel au brevet principal.

La Suisse admet que la contrefaçon peut être un délit; elle permet aux tribunaux correctionnels d'en connaître sur la plainte de la partie lésée et de punir le délinquant de l'amende et de la prison.

C'est ce qui est à peu près généralement admis; et cependant on peut

le regretter, car la contrefaçon, tout au moins celle qui résulte d'un brevet d'invention, n'est pas toujours nécessairement un délit. Les tribunaux civils seuls devraient en connaître, en laissant au ministère public la faculté de requérir la voie pénale, mais devant les mêmes juges, lorsque la mauvaise foi serait péremptoirement établie.

La loi suisse apporte bien un correctif à la situation en stipulant que les pénalités édictées ne seront pas applicables lorsqu'il y aura eu simplement faute, imprudence ou négligence; mais c'est un moyen détourné, moins simple, puisque, même dans ce cas, la partie prétendue lésée pourra entraîner un contrefacteur présumé devant un tribunal correctionnel.

L'article 26 prescrit que l'action civile pourra être ouverte par toute personne *intéressée;* mais la répression pénale n'aura lieu que sur la plainte de la partie *lésée*. L'action se prescrit par deux ans.

En outre de la protection provisoire de sept mois, résultant de la Convention internationale de la Propriété industrielle, la Suisse en accorde une autre d'une durée de six mois, à dater du jour de l'admission, à tout inventeur qui expose son produit brevetable à une Exposition nationale ou internationale suisse, ou à une Exposition internationale d'un pays étranger qui aurait conclu une convention avec la Suisse à cet égard.

Enfin, une excellente prescription, déjà adoptée par quelques lois sur la matière, est celle qui résulte de l'article 20, prescrivant à l'inventeur d'inscrire sur les objets brevetés, et à défaut sur la boîte ou caisse d'emballage, le numéro du brevet à côté de la croix de Genève.

Tel est, rapidement esquissé, l'ensemble de la loi fédérale suisse sur les brevets d'invention.

Je vais vous demander maintenant de revenir sur les articles 1, 2, 3, 4, 10, 17, 33 et 34 de cette loi, et vous présenter quelques-unes des observations spéciales auxquelles ils donnent lieu.

Art. 1. — « La Confédération Suisse accorde, sous la forme de brevets d'invention, aux auteurs d'inventions *nouvelles*, *applicables à l'industrie* et *représentées par des modèles*, ou à leurs ayants cause, les droits spécifiés dans la présente loi. »

Art. 2. — « Ne seront pas considérées comme *nouvelles* les inventions qui, au moment de la demande de brevet, seront *suffisamment connues en Suisse* pour pouvoir être *exécutées* par un homme du métier. »

Art. 3. — « Nul ne pourra, sans l'autorisation du propriétaire du brevet, fabriquer l'objet breveté ou en faire la vente. »

« Si l'objet breveté est un *outil, une machine ou un autre moyen de production*, l'utilisation de cet objet, dans un but industriel, sera de même subordonnée à l'autorisation du propriétaire du brevet. Cette autorisation sera considérée comme accordée, si l'objet breveté est mis en vente sans aucune condition restrictive. »

Art. 4. — « Les dispositions de l'article 3 ne sont pas applicables *aux personnes* qui, au moment de la demande de brevet, auraient déjà exploité l'invention ou pris des mesures nécessaires pour son exploitation. »

Cet article 4 ne précise pas si les *personnes* dont il y est parlé devront être suisses ou domiciliées en Suisse, ou si elles pourront aussi bien

être étrangères et faire partie ou non de l'un des Etats participants à la Convention internationale. Il parait cependant s'exprimer d'une manière générale en faveur de la possession antérieure, très légitime quand elle est bien établie.

Cependant si l'invention n'était pas connue en Suisse et qu'elle ne le fût, à l'étranger, que par un exploitant qui l'avait, jusqu'alors, tenue secrète, quelle serait la solution si l'exploitant étranger venait ensuite exploiter en Suisse à l'encontre d'un brevet existant? La question est délicate.

L'article 34 stipule que les excédents de recette du Bureau fédéral de la Propriété industrielle serviront, entre autres, à *perfectionner les investigations* prévues par l'article 17.

L'article 17 dit que si le Bureau fédéral *croit s'apercevoir* que l'invention n'est pas brevetable pour un des motifs énumérés à l'article 10, il en donnera, au demandeur, un avis préalable et secret pour qu'il puisse, à son gré, maintenir, modifier ou abandonner sa demande.

Or, parmi les motifs de nullité énumérés à l'article 10, figure le *défaut de nouveauté* de l'invention.

Contrairement à des espérances que d'aucuns avaient conçues, et à des opinions encore tout récemment émises, la loi fédérale suisse pose donc, en principe, *l'examen préalable.*

Il est vrai que, conformément à un vœu arraché par la conciliation aux membres français du Congrès de la Propriété industrielle, en 1878, cet examen préalable est purement officieux, l'inventeur restant libre de ne pas en tenir compte.

Mais, ou l'examen préalable sera insuffisamment organisé et l'avis en résultant n'aura pas l'autorité nécessaire pour s'imposer à l'esprit de l'inventeur ; ou il le sera, au contraire, fortement, et alors, en même temps qu'il sera coûteux, il aura une tendance forcée à devenir autoritaire et oppressif. La machine ainsi organisée, avec un personnel assez promptement disposé à se croire infaillible et nécessaire, pourra être transformée en cet instrument, soi-disant protecteur, que l'on appelle l'examen préalable. Le seul avis officieux constitue une fâcheuse présomption pour ou contre l'invention.

Il nous a toujours semblé que, plutôt que d'organiser, quelquefois à grands frais, des Bureaux d'examen préalable pour juger de la nouveauté d'inventions dont près de la moitié s'abandonnent elles-mêmes dès la première année, il était préférable de protéger à la fois l'inventeur et l'industrie par les meilleures règles de l'initiative individuelle.

Éclairer les inventeurs ou les industriels en leur faisant connaître la loi, en leur permettant d'avoir une connaissance rapide, facile, économique, par des catalogues bien classés, ou des brochures imprimées, des brevets existants à tels noms, ou pour telles industries spéciales, c'est la meilleure manière de les protéger.

Je vais en terminant examiner un dernier point essentiel de la loi suisse, celui-là même qui résulte de l'article premier.

Il résulte de renseignements qui nous ont été fournis par des sources compétentes, que la loi fédérale n'admet pas au brevet les inventions relatives aux produits chimiques ou autres, ou à des procédés de fabri-

cation. Ce serait à la demande expresse des fabricants de produits chimiques qui eussent, sans cela, fait avorter le « referendum » une deuxième fois, que cette obligation aurait été contractée par le Conseil fédéral.

Or, il est à remarquer que la loi ne formule pas, d'une façon précise, l'exclusion des produits chimiques ou autres.

Seront brevetables, dit-elle, les inventions ***nouvelles, applicables à l'Industrie, représentées par des modèles;*** et c'est tout. Rien autre n'est même pas prévu aux cas de nullité énumérés à l'article 10.

Est-ce dans la représentation de l'invention, par un ***modèle***, que résiderait l'exclusion des produits ? L'interprétation de cette condition est actuellement bien douteuse, et l'incertitude sera grande dans bien des cas. Elle résulte déjà, du reste, de l'examen de l'article 1er. Il est évident, en effet, qu'il existe des produits qui satisfont aux conditions de cet article ; c'est-à-dire : ils sont ***nouveaux***, ils sont applicables ***à l'Industrie***, ils peuvent être ***représentés par des modèles.***

Les articles 33 et 34 viennent encore plaider en faveur de la brevetabilité des produits ; en disant que tout inventeur d'un ***produit brevetable***, figurant à une Exposition, pourra obtenir une protection provisoire de six mois.....

On dit bien, il est vrai, en parlant des machines et appareils exposés par une maison, que cette maison a exposé ses produits ; et on peut admettre que le législateur suisse a voulu donner au mot « produit » ce genre de signification. Mais en remarquant que les mots « produits brevetables » sont répétés jusqu'à quatre fois aux articles 33 et 34 ; que, d'autre part, à l'article 20, qui prescrit l'apposition du numéro du brevet et de la croix de Genève sur les objets brevetés, sont dispensés de cette indication les objets qui, « par leur nature », ne peuvent en être munis, l'opinion en faveur de la brevetabilité des produits s'accentue.

D'ailleurs, les armes à feu portatives, les mouvements et boites de montre, sont, dès à présent, de par l'arrêté du 26 octobre 1888, article 2, considérés comme espèces brevetables. (1)

Cela étant, voici un objet consistant en une mince platine métallique découpée suivant des ailes rayonnantes. C'est une bobine sur laquelle s'enroule un fil de soie ou autre. C'est un produit. Il est nouveau, applicable à l'industrie, représenté par un modèle ou en nature. Il est donc, d'après la loi, nécessairement brevetable, et de fait il a été breveté.

Voici un autre produit, consistant dans ce que l'on appelle une nouvelle « forme pharmaceutique » ; c'est un « cachet médicamenteux », consistant en deux hosties circulaires concaves soudées l'une à l'autre par leurs bords et renfermant une dose médicinale. Ce produit répond également aux conditions imposées par la loi. Comment, en vertu de quel texte, pourrait-on lui refuser la brevetabilité ? Le tout cependant est un produit pharmaceutique.

On pourrait examiner ainsi de nombreuses espèces, dont la brevetabilité restera douteuse jusqu'à ce que des commentaires autorisés, ou une prochaine jurisprudence, viennent éclairer ce point essentiel de la loi.

(1) Il y a plus ; parmi les brevets déjà délivrés, il s'en trouve de ce genre : nouvelle composition des plaques métalliques servant à la fabrication des boîtes de montre, médaillons et autres bijoux.

On voit que c'est le propre des restrictions de cette nature de faire naître des difficulté dans l'application ; ces exceptions sont d'autant plus regrettables qu'un produit peut être aussi utile à l'Industrie que n'importe quel autre moyen au sens légal représenté par un modèle, et que l'on ne trouve, dans la raison et la justice, aucun motif d'exclure de la brevetabilité les produits, quels qu'ils soient.

Mais, d'autre part, il faut tenir compte des difficultés que les partisans des brevets d'invention et les législateurs suisses, avaient à vaincre. Étant donnée l'opposition de certains notables qui déjà avaient fait avorter un premier « referendum », il valait mieux édicter une loi laissant quelque peu à désirer, que de n'en pas avoir une.

Tout fait espérer, d'ailleurs, qu'une fois que l'esprit public se sera familiarisé en Suisse avec l'institution des brevets d'invention, la loi y sera quelque peu modifiée dans un sens plus général pour ce qui est de la brevetabilité des procédés et des produits.

Actuellement, la Suisse a un ensemble régulier de lois sur la propriété industrielle. Elle avait une loi pour la protection des marques de fabrique. Elle s'est donnée, sur les brevets d'invention, la loi dont je viens de vous esquisser les points principaux ; et dès le 12 avril prochain sera inaugurée une loi, adoptée par la Chambre fédérale le 21 décembre dernier, sur les modèles et dessins industriels.

M. Périssé estime que l'article 17, relatif à l'avis préalable, ne mérite point les critiques dirigées contre lui par M. Casalonga.

« Si le Bureau fédéral de la Propriété industrielle croit s'apercevoir, dit cet article 17, que l'invention n'est pas brevetable pour un des motifs énumérés par la loi, il en donnera au demandeur un *avis préalable* et *secret*, pour qu'il puisse, à son gré, *maintenir*, *modifier* ou *abandonner* sa demande. »

C'est la reproduction exacte d'un amendement présenté par lui et adopté par le Congrès international de la Propriété industrielle en 1878.

Comme ingénieur et comme membre du Jury d'admission de la mécanique générale, il s'était trouvé en contact avec beaucoup d'inventeurs et il avait fait valoir les avantages de cet avis préalable et développé les arguments qui militent en sa faveur. Les inventeurs seront éclairés et protégés sans qu'aucune atteinte soit portée à leur liberté. En ce moment, environ 60 0/0 des brevets sont abandonnés dès la première année; et cet abandon a lieu le plus souvent parce que l'inventeur a manqué de renseignements. Aussi, après une discussion qui avait pris plus d'une séance, le Congrès de 1878 avait émis l'avis qu'il était utile de donner un avis préalable tant dans l'intérêt de l'inventeur que dans l'intérêt de la société.

M. Casalonga répond que la plupart des membres français au Congrès de la Propriété industrielle de 1878 étaient opposés au principe de l'avis préalable secret et que s'il a été voté, ce fut par pure courtoisie pour les membres étrangers, afin d'éviter le départ de ces membres et l'avortement du Congrès.

M. Périssé reconnait que ce fait est exact et il ajoute qu'il avait éte assez heureux pour trouver la formule qui avait permis d'établir l'accord.

M. Casalonga dit que, sauf quelques rares exceptions, les membres français du Congrès de la Propriété industrielle en 1878 étaient partisans de la liberté absolue de l'inventeur telle qu'elle est établie par la loi française, à laquelle il faudra forcément revenir; parce que l'inventeur n'est pas un mineur, qui doive être mis en tutelle; il est au contraire majeur, il doit avoir la plénitude de sa faculté de conception, il doit agir sous sa libre initiative et sous sa responsabilité; un avis officieux ne peut que l'embarrasser.

M. Périssé. — Cet avis est secret.

M. Casalonga. — Oui, mais les personnes avec lesquelles l'inventeur pourra traiter demanderont quel avis lui a été donné; il en résultera toujours un embarras pour l'inventeur; car de l'existence ou de l'absence d'un avis résultera toujours une présomption. Il faut, je le répète, que l'inventeur soit libre et qu'il ait la responsabilité de ses actes. Voit-on un inventeur qui habite Bordeaux, Limoges, Marseille, où il n'a pas les renseignements nécessaires pour vérifier l'avis transmis, le voit-on recevant un avis du ministère, lui disant : « Votre invention a déjà été présentée. » — On ne peut pas lui envoyer tous les documents nécessaires pour contrôler cet avis. Que l'on se mette à la place de cet inventeur; que va-t-il faire en présence de cet avis? Va-t-il poursuivre son invention ou s'arrêter? S'il s'arrête, il risque d'abandonner une invention, peut-être réelle, qui pourra être immédiatement reprise par un autre, lequel en retirera peut-être un grand profit. Alors, l'inventeur dira au bureau officieux : « Je vous remercie bien de vos conseils, vous êtes bien aimables, mais vous m'avez privé d'une invention dont un autre a tiré profit. » — Le mieux, c'est d'enlever toute espèce de responsabilité à ceux qui sont chargés de donner un avis aux inventeurs. Au *Syndicat des Ingénieurs-Conseils en matière de Propriété industrielle*, nous n'avons pas admis l'examen préalable en vue de l'avis officieux, et même, nous avons cherché à décharger la loi française de tout ce qui s'y rapproche.

L'examen préalable est très onéreux et il n'a pas, comme certains le pensent, le privilège de diminuer les demandes.

En Amérique, il y a environ 40 000 demandes de patentes par an, l'organisation du bureau d'examen y est très coûteuse.

Puisque près de 50 0/0 des inventions tombent d'elles-mêmes dès la première année, pourquoi consacrer du temps à les examiner? Il est bien préférable de laisser toutes ces demandes de brevet s'élaguer et disparaître d'elles-mêmes. Lorsqu'une invention d'une certaine importance donne lieu à des contestations, les tribunaux examinent les prétentions opposées des plaideurs, et on arrive à une meilleure solution qu'avec l'examen préalable. L'examen préalable, avec faculté de rejet de demande, même en admettant qu'il soit fait par des examinateurs impartiaux et intègres, ne donne pas de bons résultats. L'examen préalable, même en vue de la transmission à l'inventeur d'un avis officieux et secret, ne peut être non plus avantageux; il faut le repousser avec énergie. *(Applaudissements.)*

M. Roy dit qu'il a beaucoup lutté au cours de sa vie pour ses inventions et il croit que l'avis officieux est une excellente chose, parce qu'il

peut empêcher bien des inventeurs de se lancer dans une mauvaise voie. Cet avis étant officieux et secret, il ne peut pas être nuisible.

Quand on indiquera à un inventeur des antériorités, il fera les recherches nécessaires pour s'en rendre compte. A l'appui de son opinion, M. Roy cite un exemple qui lui est personnel : il s'est fait breveter en 1883 pour un système d'attelage entre locomotive et tender. On lui indiqua, à la fin de l'année suivante, qu'un ingénieur étranger, dont le brevet était, dit-il, postérieur au sien d'une année, faisait aux Compagnies de chemins de fer des propositions pour un système d'attelage analogue. — Si cet ingénieur avait été informé par un avis préalable, il ne se serait pas livré aux frais considérables que lui ont occasionnés la prise de brevets et les démarches près des Compagnies. Un semblable avis ne peut donc que rendre service à l'inventeur et lui éviter, par suite, des difficultés et des procès. M. Roy reconnait que l'on prendra peut-être un peu moins de brevets, mais que l'avis rendra des services à ceux qui en prendront.

M. Mardelet demande a préciser le fait cité par M. Casalonga, qui a dit que le *Syndicat des Ingénieurs-Conseils en matière de Propriété industrielle*, avait étudié la question et rejeté l'examen préalable. Cela est bien exact, mais il importe de faire connaître que l'avis préalable a été vigoureusement défendu et que l'opinion contraire n'a prévalu qu'à la majorité d'une voix.

M. Périssé dit qu'on ne porte pas atteinte à la liberté ni à la dignité de l'inventeur, contrairement à ce que soutient M. Casalonga, puisqu'il peut à son gré *maintenir*, *modifier* ou *abandonner* son invention. L'inventeur a donc sa pleine et entière liberté : s'il maintient sa demande de brevet, rien n'est changé à la situation actuelle; si, après qu'on lui a fait connaître quelques antériorités, il veut modifier sa demande, il le peut; et, s'il l'abandonne, c'est qu'il reconnait que ce n'est pas la peine de dépenser 100 *fr* pour prendre un brevet. L'avis préalable est en outre favorable à l'intérêt du public. En effet, lorsqu'on a des recherches à faire, il faut se livrer aux travaux les plus pénibles; on ne peut pas négliger les 60 0/0 de demandes qui tombent la première année; et les brevets contiennent trop souvent des développements inutiles qui ne peuvent que créer des confusions.

L'avis préalable et secret permettrait de déblayer le terrain, de rendre les recherches plus faciles, et de supprimer les inconvénients existant. Il y a là un ordre d'idées séduisant dont la mise en pratique pourrait être très utilement et fructueusement essayée.

Il ne s'agit pas, en effet, de l'examen préalable nécessaire à l'obtention du brevet, comme cela se pratique notamment en Allemagne, mais d'un simple avis officieux qui laisse toute liberté à l'inventeur.

M. Périssé voit donc avec plaisir que la Suisse, où se trouve le bureau international, va faire l'essai du système et il en attend de bons résultats.

M. Casalonga répond que l'avis préalable met l'inventeur dans le plus grand embarras. En outre, cela nécessite l'organisation d'un bureau d'examen, ce qui occasionne des dépenses considérables qu'il est mieux d'appliquer à la diffusion des inventions et à la facile connaissance de

ces inventions par le public. M. Périssé vient de dire que lorsqu'il s'agit de vérifier la valeur d'un brevet, on est obligé de se livrer à des recherches laborieuses, comportant les plus grandes difficultés et exigeant des études préalables approfondies. Eh bien! pense-t-on qu'un bureau d'examen puisse faire ce travail-là pour chaque demande de brevet, afin de pouvoir dire à l'inventeur qu'il fait fausse route? Si l'inventeur était complètement et sûrement renseigné, il faudrait évidemment adopter l'avis préalable, mais il ne faut pas oublier qu'à moins d'avoir des installations très coûteuses, il est absolument impossible de renseigner assez sûrement l'inventeur, pour endosser la responsabilité morale de cet avis, et le brevet délivré après avoir subi un rigoureux examen préalable n'est pas plus garanti que s'il n'avait pas été examiné.

L'inventeur retirera-t-il de l'avis officieux tous les avantages qu'on lui attribue. Et notamment l'ingénieur dont a parlé tout à l'heure M. Roy se serait-il soumis à l'avis qui lui aurait été donné? Et n'aurait-il pas soutenu que son invention était différente de celle de M. Roy?

Que de fois ne voit-on pas deux inventions qui paraissent absolument semblables et qui diffèrent cependant par un point essentiel! Ce sont des points délicats qu'une commission d'examen ne peut pas trancher; les procès en contrefaçon en donnent tous les jours la preuve.

M. Polonceau croit que l'examen préalable comporte un danger, c'est qu'on tomberait bien vite dans le système allemand en ce qui concerne les brevets.

En Allemagne, les brevets ne sont délivrés qu'après examen préalable et lorsque des Français présentent une demande de brevet dans ce pays on la repousse dans bien des cas sans donner d'explication. Il en connaît plusieurs exemples.

Il y a encore un autre danger, c'est qu'on a l'air de dire à l'inventeur : « Vous avez un brevet valable et parfait, » et il se peut que dans beaucoup de cas cela ne soit pas exact.

L'organisation d'un bureau qui puisse donner des renseignements exacts et précis est impossible.

Il sait, par expérience, que quand il s'agit de brevets d'invention, il est bien difficile de connaître la vérité.

Il y a des procès qui durent quinze ans; avec l'examen préalable on rencontrera les mêmes difficultés. Les inconvénients qui en résulteront seront tellement graves qu'on l'abandonnera ou qu'on tombera dans le système allemand qui est déplorable.

M. le Président dit que la communication intéressante de M. Casalonga a donné lieu à d'importantes observations et qu'elle mérite d'être étudiée avec beaucoup de soin. L'opinion qui semble la plus conforme aux idées générales de la Société est qu'il faut admettre d'une façon absolue le principe de la liberté et de la responsabilité individuelle. Si l'on s'est trompé, le pire qui puisse arriver, c'est d'avoir dépensé inutilement la taxe de 100 *fr*; mais il serait possible de la diminuer. M. Casalonga et M. Polonceau pensent que l'examen préalable donnerait lieu à une série de difficultés. Un inventeur est toujours porté à croire que

son invention diffère de tout ce qui l'a précédé, mais qu'au contraire tout ce qui a été imaginé postérieurement, lui a été emprunté.

M. le Président ajoute que la question des modèles dont il est question dans la nouvelle législation suisse l'a beaucoup frappé. L'obligation de déposer un modèle est, il est vrai, assez dure, mais cela donne à l'invention un caractère de précision incontestable et utile, parce que c'est en général à une application pratique et définie que le brevet doit aboutir. Quand on examine des brevets français, on remarque que le plus souvent, par des généralisations exagérées, on cherche à embrouiller l'invention dans une série de circonlocutions qui permettent difficilement de l'en dégager. Le brevet comporte les développements les plus étendus, et souvent les plus inutiles, de manière à réserver toutes les applications imaginables. Si au contraire l'objet du brevet devait être présenté sous la forme d'un modèle, cela pourrait être gênant pour l'inventeur, mais il se trouverait obligé d'exprimer sa pensée d'une façon concrète et on éviterait ainsi bien des procès en contrefaçon, tandis qu'aujourdhui un brevet bien rédigé n'est réellement sans valeur que quand on a cessé d'en payer les annuités. La loi suisse paraît contenir beaucoup de bonnes innovations dont il sera très intéressant de connaitre les résultats pratiques.

M. Polonceau a la parole pour sa communication sur *l'éclairage électrique de la ville de Milan.*

En 1887, pendant le Congrès International des chemins de fer, les Ingénieurs qui en faisaient partie ont eu occasion, grâce à l'extrême obligeance de M. Colombo, directeur de la Société générale d'électricité, d'étudier en détail l'éclairage électrique qui fonctionne d'une manière tout à fait satisfaisante et sans aucune interruption.

La construction de la station centrale fut décidée en 1882, en 1883 elle commença à fonctionner, en 1884 la station alimentait 5 500 lampes.

Actuellement l'usine comprend :

10 dynamos Edison, type C., de 1000 lampes à incandescence avec moteur de 125 chevaux ;

4 dynamos Thompson Houston de 30 lampes à arc avec 2 moteurs de 40 chevaux chacun ;

2 dynamos à courants alternatifs, système Ganz, chacune de 1 000 lampes à incandescence pour l'éclairage des théâtres Dal Verme et Fossati.

Les machines Edison C. ont un courant maximum (à 110 volts) de 800 ampères.

Force électro-motrice aux bornes 110 à 120 volts.

Ces machines sont à moteurs adhérents, chaque machine a son moteur, 350 tours à la minute.

Deux des machines motrices sont du système Portor-Allen et les autres du type Armington et Sims.

Elles peuvent toutes développer à 8 kilog. une force nominale de 125 chevaux et au maximum de 150 chevaux, correspondant à la charge de 1 000 lampes de 16 bougies par dynamo.

Un moteur spécial actionne un ventilateur pour l'aération des armatures des dynamos et une pompe à eau froide pour rafraichir l'intérieur des paliers.

Ces refroidissements ne sont nécessaires que lorsque les dynamos développent leur maximum de travail.

Ces machines sont exécutées avec une précision remarquable et fonctionnent admirablement.

Des dispositions très ingénieuses permettent de régler le courant immédiatement, quelles que soient les variations dans le débit, sans qu'il y ait la moindre oscillation de lumière chez le consommateur ou d'avis entre la station et les différents points du réseau.

Les chaudières situées au 1er étage sont du type Babcock et Vilcox, au nombre de neuf.

La surface de grille	4 m^2 500
La surface de chauffe	170 m^2
Force en chevaux.	160
Poids total.	19 250 *kg*

L'usine de Sainte-Radegonde rayonne de 5 à 600 *m* dans toutes les directions et de 1 200 à 2 200 *m* pour les théâtres Dal Verme et Fossati, la via Torino et le cours Victor-Emmanuel.

Comme il suffit d'une différence de 1 volt dans la force électro-motrice pour qu'une lampe Edison tombe de 16 bougies à 15, pour éviter que la différence de force électrique dépasse 1 1/2 à 2 0/0, on a divisé le réseau en deux parties ; le réseau proprement dit, entièrement fermé et isolé de l'usine, et un faisceau d'alimentation qui, partant de l'usine, porte le courant au réseau en des points convenablement choisis.

A la suite des nouveaux règlements sur les théâtres, la Société a dû installer 2 dynamos spéciales pour les théâtres Dal Verme et Fossati, situé à 1 200 et 2 100 *m* de l'usine.

La Société s'est servie pour cela de générateurs secondaires Zipernowski, Dery, Blathy, fabriqués par la maison Ganz, de Budapest.

Ces dynamos sont des machines à courants alternatifs de 1 800 volts et 30 ampères; les conducteurs sont de petite dimension.

Pour l'éclairage du cours Victor-Emmanuel et la via Torino dont les extrémités sont à 2 000 ou 2 500 *m* de l'usine, on emploie des dynamos du système Thompson-Houston, à courant continu ; elles donnent 1 500 volts et un peu plus de 10 ampères ; elles font marcher en série 30 lampes à arc du même système qui donnent chacune 2 000 bougies ; ces lampes sont suspendues au milieu de la voie publique, à la hauteur du deuxième étage, elles donnent dix fois plus de lumière en coûtant à la ville environ 25 0/0 de plus que le gaz.

Les conducteurs sont aériens et recouverts de gutta-percha.

La dynamo Thompson-Houston est auto-régulatrice et sur 30 lampes on peut en éteindre 29 sans que la trentième dénote la moindre déviation dans son fonctionnement.

Il y a quatre dynamos de ce type en service et pour pouvoir éclairer d'autres rues, la Société devait installer en 1887 deux nouvelles dynamos et en 1888 également deux nouvelles dynamos Thompson-Houston.

La municipalité de Milan paye à la Société Edison pour l'éclairage de la galerie Victor-Emmanuel, 1 000 lires par lampe brûlant jusqu'à minuit et 1 700 lires par lampes brûlant jusqu'au jour.

Le tarif était établi comme suit à l'origine :

Constante annuelle par ampère : 45 lires ou 35 lires par lampe de 16 bougies.

Tarif de consommation :

Par ampère-heure, 0 lire 0533.

Par lampe de 16 bougies et par heure, 0,04.

Pour les lampes de 100, 32, 10 et 8 bougies, la constante et le tarif de consommation sont variés proportionnellement à l'intensité du courant que chacune d'elles dépense.

Actuellement la Compagnie a adopté le compteur Edison à électrolyse.

Le prix de location des compteurs est par an :

6 lires	pour un compteur de	50 lampes.
9	—	51 à 100 lampes.
12	—	101 lampes et au-dessus.

La taxe à payer ensuite peut être fixée de deux manières.

Si on paye une taxe annuelle, le tarif est :

	Taxe annuelle	à l'heure.
Pour un ampère	45 lires	3,5 c.
— une lampe de 10 bougies	25,50	2,66
— — 16 —	35	4

Si on ne paye pas de taxe annuelle le tarif par lampe et par mois est :

En centimes et par heure.

	AU-DESSUS de 41 h	DE 41 à 80 h	DE 81 à 100 h	DE 101 à 125 h	DE 126 à 150 h	AU-DESSUS de 150 h
Pour 1 ampère.	12	11	10	9	8	7,5
Pour 1 lampe de 10 bougies	16	5,5	5	4,5	4	3,75
Pour 1 lampe de 16 bougies	19	8,25	7,5	9,75	6	5,6

La Société prend à sa charge le renouvellement des lampes cassées par usure.

M. Polonceau ajoute que ce qu'il y a de remarquable, c'est que, pendant le séjour qu'il a fait à Milan, il a constaté que l'éclairage électrique est absolument satisfaisant. Dans l'hôtel qu'il habitait, l'éclairage électrique était installé également dans toutes les chambres, et il n'y avait pas une seule bougie; ce qui prouve que le fonctionnement en est régulier et qu'on ne craint aucune interruption. L'éclairage des rues est aussi très régulier, très brillant.

Il est à regretter que Paris soit si en retard, au point de vue de l'éclairage électrique. Partout cet éclairage est installé : un très grand nombre de théâtres de l'Europe ont été éclairés à la lumière électrique avant ceux de Paris. Il faut espérer que l'Exposition de 1889 va donner une

vigoureuse impulsion dans cette voie. Si nous sommes aussi en retard, cela tient à cette série de règlements qui sont chez nous une maladie chronique. Chacun recule devant les difficultés que l'on rencontre pour installer une chaudière pour la lumière électrique. A Milan, les machines ont été installées au milieu de la ville, au premier étage, et personne ne s'en plaint. (*Applaudissements.*)

M. le Président remercie M. Polonceau de sa très intéressante communication qui contient des renseignements fort importants. A Paris, nous sommes en retard en ce qui concerne l'éclairage électrique, mais, quand Paris veut s'en donner la peine, il a bientôt regagné le temps perdu. Pour les tramways, il en a été de même et cependant en ce moment nous avons des tramways très nombreux et excellents.

Il serait à désirer que la question du futur éclairage électrique de Paris fût étudiée à la Société des Ingénieurs Civils dans tous ses détails, ainsi que les cahiers des charges qui ont été établis par l'Administration.

La Société verrait certainement avec plaisir que l'un de ses membres se chargeât de lui présenter une étude complète sur cette question au moment où elle commence à se développer et à être mise en pratique.

M. Cottancin a la parole pour sa communication sur *les Travaux en ciment avec ossature métallique*.

Le principe des constructions en ciment avec ossature métallique consiste à noyer dans une couche de ciment de quelques centimètres d'épaisseur un treillis métallique à mailles de 5 à 10 *cm* de côté, formé par de petits fers de profil quelconque, ordinairement des barres à section circulaire à cause de leur bonne qualité. A chaque point de croisement on attache les barres par une ligature nécessitant peu de main-d'œuvre, ce qui fait choisir de préférence l'attache de treillageur dont le serrage est assez énergique pour ce travail, en raison de son emprisonnement dans le mortier.

La couche de ciment, ayant un support en fer mis en harmonie avec les forces qui entrent en jeu dans chaque cas, peut être très mince tout en offrant plus de sécurité au point de vue de la solidité que les grandes épaisseurs de maçonnerie; car le mortier de ciment est décomposé, par le réseau métallique en fer ou en acier, en petits parallélipipèdes fictifs qui, reposant par leur pourtour sur les parties de barres constitutives de chaque maille du treillis, n'ont à résister qu'à la compression due à une charge fixe, dans le cas des réservoirs, ou à une charge roulante, dans celui des planchers. Il résulte de la faible portée de ces petits solides fictifs et de l'entretoisement en quelque sorte alvéolaire procuré par le treillis, que les fissures, qui se produisent presque toujours dans les maçonneries ordinaires en ciment, sont complètement évitées avec l'ossature parce que, la dilatation du fer et du mortier étant presque identique, ces deux corps font dans ce cas un ensemble sans disjonction possible, d'autant plus que la mauvaise conductibilité du ciment restreint les variations calorifiques qui agissent sur le fer.

Cette conservation parfaite des travaux est amplement démontrée dans la pratique par des réservoirs d'un million de litres qui sont construits depuis longtemps déjà sans avoir subi de dégradations malgré le

manque de précautions pour les soustraire aux intempéries des saisons.

Ce système est donc des plus rationnels puisqu'il fait travailler les deux corps employés de la façon la plus avantageuse : le fer, à la traction, et le ciment, à la compression. Cette dernière matière, par son étanchéité, protège le fer et le conserve indéfiniment dans un état parfait. Ainsi des dalles avec ossature, brisées après cinq ou six ans, ont montré la teinte bleutée du fer due au décapage par la chaux avant la prise complète du mortier.

Les principales applications concernant l'hygiène sont :

1° Les grands réservoirs d'alimentation qui permettent de conserver l'eau, dans d'aussi bonnes conditions sanitaires que dans ceux en maçonnerie avec enduit de ciment, tout en offrant une économie très notable qui se comprend facilement par la réduction considérable d'épaisseur que procure le fer. En effet, des réservoirs de 1 500 *m*³ et d'une hauteur de 4 *m* n'exigent que 10 *cm* d'épaisseur à la base sans recourir à aucune précaution pour les soustraire aux rayons solaires ou à la gelée.

Ces réservoirs, qui peuvent être enterrés, placés sur le sol aussi bien qu'élevés sur colonnes ou massif de maçonnerie, forment des châteaux d'eau ayant leur radier à la hauteur voulue pour la distribution.

2° Les canalisations, d'une seule pièce, coulées en tranchée ou constituées par des tronçons qui ont couramment 2 *m* de longueur, ce qui ne peut se faire avec les tuyaux en grès, qui ont des longueurs trés réduites lorsqu'on arrive à certains diamètres et avec les tuyaux en béton comprimé sans ossature à cause de leur plus grande épaisseur.

Il est utile de remarquer que l'on rentre avec ce système dans la catégorie des tuyaux métalliques, au point de vue de la résistance à la pression intérieure, par la possibilité, en employant une carcasse appropriée, de les mettre en charge à 10 atmosphères de pression et plus, sans toutefois craindre les concrétions ferrugineuses qui mettent si rapidement les conduites métalliques hors de service, surtout quand la proportion de matières organiques que contient l'eau est un peu forte.

La résistance aux pressions extérieures est démontrée par le fait qu'un tuyau de 1 *m* de diamètre, 4 *cm* d'épaisseur, peut porter en moyenne, par mètre courant, une charge de 5 300 *kg*.

Les considérations précédentes sont applicables aux égouts qui se font avec des épaisseurs très faibles, 4 à 5 *cm*, suivant tous les gabarits désirés, ovoïdes ou demi-cylindriques avec dalles de couverture.

Ainsi, avec la forme ovoïde, une portion d'égout de 1 *m* de longueur, de 0,70 aux naissances, de 0,30 au radier et une hauteur de 1 *m*, supportée aux deux extrémités, a reçu une charge de 3 250 *kg*, sans que la paroi se soit fendue malgré l'aplatissement de 3 *mm* de l'axe vertical et le renflement de 4 *mm* aux naissances, par suite de l'élasticité de ces sortes de constructions dont la rupture n'est pas instantanée comme pour les maçonneries ordinaires ; si bien que les travaux fléchissent, se déforment et enfin se déchirent par des efforts exagérés, de la même façon que de la tôle, ce qui réduit considérablement la gravité des accidents.

Il y a nombre d'applications que tout le monde peut concevoir,

comme les bassins de filtration et de décantation, les cuvelages de puits artésiens, d'eau douce ou thermale, les canaux d'arrivée et de fuite d'usines hydrauliques, les chambre du « tout à l'égout » etc..., sans oublier les fosses d'aisances qui offrent journellement de très grandes difficultés d'étanchéité complète pour les liquides et surtout pour les gaz.

La suppression des infiltrations dans les terrains aquifères est aussi à signaler. Par les moyens ordinaires le constructeur ne peut les supprimer complètement, tandis qu'il est très facile de résoudre ce problème par l'emploi d'un revêtement avec ossature métallique combiné avec un drainage pour éviter, par ces deux systèmes de défense, la rupture tant par le manque de résistance que par le contact irrégulier de l'eau avec les maçonneries de ciment. Et on arrive ainsi au système rationnel de suppression complète des infiltrations qui consiste à faire:

1° Une cuve dépassant le niveau supérieur des hautes eaux, dont la solidité soit telle qu'en l'assujettissant à demeurer en place, par des scellements appropriés dans les murs de la construction, elle résiste à la hauteur d'eau de la nappe aquifère au-dessus du sol à étancher.

2° Un drainage aboutissant à un collecteur général qui se déverse dans un tuyau ou un récipient quelconque pour permettre au niveau de la nappe de s'établir, d'après le principe des vases communicants, dans tout le système de telle sorte que la pression se répartisse uniformément sur toutes les parois du revêtement.

Il ne faut pas s'effrayer de ce mot « cuve » au point de vue du prix, quoiqu'il soit naturellement supérieur à celui du simple enduit et du dallage qui ne protègent nullement contre l'envahissement de l'eau, car les frais d'établissement sont moins forts qu'en ayant recours à un bloc de béton et à des voûtes pour parer au fléau de l'inondation. De plus, ce mode de protection nécessite souvent de grandes réparations, qui sont évitées avec l'ouvrage en ciment avec ossature métallique ayant une résistance égale à celle des cuvelages en métal, dont le prix est supérieur et qui ne sont employés qu'en dernière ressource à cause de leur entretien.

Ce mode de construction est employé dans les surfaces telles que : dallages, hourdis de planchers et même planchers ou couvertures pour les établissements à atmosphère humide ainsi que les dallages pour terrasses.

Le grand avantage de ce procédé réside dans la réparation très facile, due à la décomposition de la masse de ciment en petits parallélépipèdes enchâssés dans le treillis.

En effet, le choc ne peut occasionner la rupture ni même les grandes fissures dans ce genre de construction comme dans les parois sans ossature; son action se localise à quelques-uns des petits solides qui sont reconstitués très simplement avec un peu de mortier, de ciment même, par des personnes peu expérimentées.

L'outil ne dégradant que la partie attaquée, on modifie, suivant les besoins, le travail primitif.

Certains produits chimiques tels que les dissolutions alcalines, l'eau de Javel, les essences végétales, n'attaquant pas le ciment, on construit

de cette façon des cuves ou des bacs économiques pour un grand nombre d'industries chimiques.

Les chalets, à double paroi, fixes ou démontables pour le bord de la mer et les colonies, donnent lieu à une application intéressante.

La possibilité de créer des annexes permet l'emploi de ces travaux dans l'industrie du gaz pour les canalisations modifiables suivant les besoins de la clientèle, pour les épurateurs, les cuves de gazomètres et bien d'autres travaux parmi lesquels on peut citer les gaines pour l'électricité.

Et en raison de la réduction d'épaisseur de la couche à 1 *cm*, on obtient également une foule de petits objets utiles ou décoratifs.

Il est donc permis de conclure que ce système peut rendre de réels services tant à l'Ingénieur qu'à l'Architecte et à l'Industriel et personnellement, dit M. Cottancin, j'ai pu en apprécier la valeur par les bons résultats que donnent deux réservoirs jumeaux, construits d'après mes études techniques, d'une contenance de 522 m^3, de 11 *m* de diamètre, 3 *m* de hauteur, accolés suivant une flèche de 8,50 *m*.

M. le Président constate avec plaisir que cette intéressante communication prouve que les Ingénieurs commencent à s'occuper d'un mode de construction excellent, peu appliqué jusqu'à présent. Il paraît en effet appelé à rendre de grands services. Jusqu'à ce jour, on n'en avait pas tiré parti et personne ne semblait s'y intéresser.

C'est par ce procédé que sera établi le soubassement de la tour de 300 *m* dont les grandes courbes de raccordement ont 3 *m* de hauteur. Les observations de M. Cottancin l'encouragent à faire usage de ce procédé de construction parce qu'on évite ainsi les fissures qui seraient à craindre avec une étendue de ciment aussi considérable.

M. Périssé demande si des fissures ne sont pas à redouter pour des parois minces exposées à des variations de la température; car la chaleur pénétrant à l'intérieur, il se produira des fissures par suite de la différence de la dilatation.

M. Cottancin répond que la dilatation du fer et du ciment sont identiques, et des réservoirs, qui sont installés depuis six ans, n'ont pas bougé. Les coupoles des réservoirs jumeaux de 522 m^3 dont l'épaisseur est de 5 *cm* seulement, n'ont subi aucun changement.

M. Polonceau rappelle que quand on veut faire des réparations avec du ciment à des ouvrages en béton, le ciment ne tient jamais, par suite de la différence de dilatation; le procédé décrit par M. Cottancin peut rendre de grands services dans bien des circonstances.

M. Pettit dit qu'à la Compagnie des Eaux, plusieurs réservoirs ont été construits d'après ce système au-dessus du plateau des Bruyères; ces réservoirs sont absolument découverts et, depuis quatre ans qu'ils sont établis, il n'y a jamais eu aucune fissure, qu'ils soient vides ou pleins.

M. le Président pense que la communication de M. Cottancin mérite d'être développée.

M. Cottancin répond qu'il est à la disposition de la Société pour donner de plus amples renseignements.

M. Pettit indique qu'en ce qui concerne les tuyaux, le joint est actuellement défectueux.

M. le Président dit que la Société entendra avec plaisir la nouvelle communication de M. Cottancin, car il est temps que les Ingénieurs s'intéressent à cette question. Ce système de construction était, en effet, resté jusqu'à présent entre les mains de quelques praticiens peu au courant des principes théoriques de cet emploi très rationnel du fer.

M. Polonceau ajoute que cela sera d'autant plus instructif qu'il y a vingt-cinq ans, M. Coignet avait fait des essais en vue d'augmenter la résistance du béton, en noyant dans le béton une certaine quantité de fils de fer, ce qui n'avait pas réussi, autant qu'il s'en souvient.

M. le Président dit que le fer se conserve très bien dans le ciment, mais très mal dans la chaux et dans la maçonnerie; il se rouille, prend un développement considérable et occasionne des ruptures. Dans de vieilles fortifications, datant d'environ trois cents ans, où toutes les pierres étaient reliées par des goujons en fer de 12 à 15 *mm* de diamètre, il a remarqué que ces goujons étaient arrivés à avoir, par suite de la rouille, un diamètre de 30 à 35 *mm*. Naturellement, sous l'influence de cette augmentation de volume, tout s'était brisé. Dans le ciment, au contraire, le fer ne se rouille pas. Il y a donc là une voie ouverte à un procédé d'une grande importance.

La séance est levée à onze heures moins le quart.

BARCELONE-BILBAO

NOTES DE VOYAGES

(Octobre 1888)

PAR

E. GRUNER

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES

Chargé par notre président, M. Reymond, de présenter à la Société un résumé des notes techniques que nous avons pu recueillir pendant notre voyage en Espagne, nous devons tout d'abord nous associer aux paroles qui ont été prononcées ici même par nos collègues, MM. Périssé et Brüll. Ils vous ont dit le sympathique accueil que nous avons trouvé à chaque pas et l'empressement avec lequel tant d'ingénieurs espagnols des plus distingués ont bien voulu se mettre à notre disposition pour nous guider et nous instruire.

C'est pour moi un devoir et un plaisir que de joindre mes remerciements à tous ceux qui ont été déjà adressés; car pour arriver à réunir les documents dont je vais faire usage dans un instant, il m'a fallu plus d'une fois abuser de cette complaisance de nos hôtes; qu'ils reçoivent tous en ce moment l'expression de notre gratitude.

Après l'exposé général, si net et si intéressant, qui vous a déjà été donné de notre voyage, ce serait retomber dans des redites que de vouloir suivre jour par jour le groupe des excursionnistes.

Nous nous contenterons donc d'étudier les deux grands centres industriels que nous avons visités, *Barcelone* et *Bilbao*, si différents à tous les points de vue, sauf sous un seul rapport : *la puissance de l'initiative privée.*

C'est dans le plus triste moment de l'histoire de l'Espagne, alors que les luttes intestines ensanglantaient son sol et que son crédit était au plus bas, que se préparaient, sur les deux points opposés de la Péninsule, grâce au groupement d'un petit noyau d'hommes énergiques et entreprenants, les projets qui ont été exécutés si rapidement et avec un succès si complet dès que les circonstances le permirent.

L'ensemble du pays renaissait à peine à la vie industrielle, le crédit national inspirait encore les plus grandes défiances, que déjà les grands travaux s'exécutaient aussi bien à Bilbao qu'à Barcelone; et ces deux villes trouvaient à emprunter tout l'argent qui leur était nécessaire dans des conditions des plus remarquables, si on les compare à ce qu'était alors le cours des fonds espagnols.

L'Espagne a souvent souffert des luttes provoquées par les rivalités des diverses provinces; mais cet amour-propre provincial a aussi ses bons côtés; et certainement le relèvement si caractérisé que nous saluons avec bonheur en Espagne depuis quelques années, a été provoqué en partie par les progrès de la Catalogne et de la Biscaye, ces deux provinces dont nous avons senti plus d'une fois vibrer le cœur, dans les fêtes auxquelles nous avons été conviés.

BARCELONE

Historique de Barcelone. — Il y a vingt-cinq ans, Barcelone était déjà le port le plus important de l'Espagne et l'une des principales villes du pays et pourtant quelle différence entre son état, alors et aujourd'hui!

Resserrée du côté de la terre par des remparts et des fossés, la ville était séparée de la mer par une haute et épaisse muraille dont les voûtes servaient de magasin, et dont le couronnement était la promenade préférée du peuple.

Autour de la ville, à des distances de 3 à 6 *km* se développaient librement les petites villes de Gracia, Sans, Pueblo Nuevo, San Martin de Provensals; et plus près, au pied même des remparts, sur une langue de terre s'avançant en mer, Barcelonnette.

Un jour, la Municipalité de Barcelone prit un plan et traçant une ligne entourant toutes ces villes naissantes, décomposa toute cette immense étendue qui a plus de 8 *km* de longueur et 4 1/2

de largeur en petits rectangles par une série de larges rues se coupant à angle droit.

Tel devait être le nouveau Barcelone *l'Ensanche*. Et en même temps, des Ingénieurs étaient chargés de tracer les plans d'un port de premier ordre capable d'abriter en tous temps les plus grands navires de guerre.

Avec une persévérante énergie, ce programme, d'une hardiesse tout américaine, fut poursuivi; et c'est pour en fêter la réalisation, sinon complète, du moins partielle, que la Municipalité a fait sien un projet lancé par quelques industriels et a convié tous les pays à la première Exposition universelle sur le sol espagnol.

Toutes les escadres européennes groupées dans le port et dans la rade de Barcelone à l'occasion de la visite de la Reine Régente ont sanctionné, en quelque sorte, aux yeux du pays, l'importance des travaux exécutés dans ce port qui, jadis, n'était qu'une rade ouverte à tous les vents et mal protégée par une simple jetée.

Un pareil ensemble de travaux mérite qu'on s'y arrête, et qu'on se rende compte de l'organisation qui a permis de les poursuivre, malgré les convulsions politiques qui ont bouleversé le pays pendant près de dix ans.

Transformation de la ville. — La ville ancienne est libre de tous côtés. Les boulevards nommés Ronda forment tout autour des anciens quartiers une voie bordée de belles et hautes maisons. Tout ce damier tracé sur le papier, il y a une vingtaine d'années, prend une apparence de réalité; les artères principales sont percées, éclairées au gaz et partout s'élèvent des maisons.

La muraille de mer a disparu complètement et une belle promenade plantée d'un double rang de palmiers, éclairée à la lumière électrique avec une profusion toute méridionale, longe les quais où peuvent accoster les navires du plus fort tirant d'eau.

Mais la vieille ville reste toujours la même, avec ses rues étroites, tortueuses, dans lesquelles les voitures ne doivent jamais circuler que dans un sens, faute de pouvoir se croiser.

Pour l'assainissement de tous ces quartiers où n'existe aucun système d'égout, il reste beaucoup à faire, et la municipalité s'en rend compte, nous n'en pouvons donner une meilleure preuve que l'important mémoire que nous a remis don Pedro Garcia Faria (1).

(1) *Memoria.* — Sane amiento de las poblaciones...., par D. Pedro Garcia Faria. — Barcelona, 1885.

Un chiffre tristement éloquent sert de base à l'argumentation de don Garcia et justifie pleinement les vigoureuses protestations qu'il élève contre l'état actuel.

Dans cette ville exposée à l'Est et située en pente douce vers la mer, entourée de montagnes, la mortalité est annuellement de 32,5 pour 1 000 en moyenne (1) et pourtant cette ville jouit d'un des plus beaux climats que l'on puisse désirer.

Les températures extrêmes y sont des plus rares ainsi que le montrent les moyennes ci-dessous relatives à la période 1862-1881.

Température	moyenne annuelle.	16°,3 *c*
—	maxima (juillet 1871). . . .	37°,4 *c*
—	minima (décembre 1870) . .	—2°,8 *c*
Température	moyenne de l'hiver	9°,6 *c*
—	du printemps. . .	14°,6 *c*
—	de l'été	23°,6 *c*
—	de l'automne . . .	17°,6 *c*

Mais il faut bien le reconnaître, les conditions favorables sont bien peu importantes si on les compare à toutes les causes de mortalité qui se trouvent réunies.

Dans l'ancienne ville, la population atteint 581 habitants par hectare (2).

Il n'y a pas moins de 77 rues ayant moins de 2,50 *m* de largeur ; il y en a 105 de 2,50 à 3 *m* de largeur ; 87, de 3 à 4 *m*.

En somme, sur 440 rues que compte l'ancienne ville, il y en a 417 qui ont moins de 6 *m* de largeur.

Dans de pareilles rues, toute la canalisation se réduit à un fossé en pierres sèches, recouvert de dalles non jointives, d'où se répandent les émanations les plus repoussantes.

Aussi n'est-il pas étonnant que Barcelone soit un foyer de fièvre typhoïde et que les épidémies y ont fait, chaque fois qu'elles y ont paru, les plus terribles ravages; il suffit de rappeler l'épidémie de

(1) Ces chiffres se rapportent à la période 1879-1883.
Il semble y avoir de décade en décade une aggravation constante puisque, il y a cinquante ans, les statistiques n'annonçaient que 27,5 au lieu de 32,5.
Comme comparaison nous rappellerons que la mortalité pour 1 000 habitants varie à Paris et à Londres autour de 21.

(2) Comme point de comparaison nous rappellerons que la densité de la population est :

A Paris	de 290,8	habitants par hectare.
A Berlin	de 180,9	—
A Vienne	de 130,9	—
A Londres	de 120,7	

Il n'y a que trois arrondissements de Paris : la Bourse, le Temple et l'Hôtel-de-Ville, qui aient une densité de population supérieure à celle de la vieille ville à Barcelone.

fièvre jaune de 1870 ; et encore l'approche de l'hiver a-t-il beaucoup contribué à atténuer la gravité du mal.

Don Garcia Faria met le doigt sur la plaie quand il insiste sur la nécessité de transformer tout le système des égouts ; l'eau ne manque pas à Barcelone, mais c'est l'impossibilité d'évacuer l'eau employée qui restreint la consommation. Les bassins du Llobregat et du Bésos fournissent de la bonne eau (1); les canaux et machines existants permettraient de fournir **260** *l* d'eau par habitant et par jour et la distribuent jusque dans les parties hautes de la ville. Mais la consommation est bien inférieure à ce chiffre, elle atteint à peine 100 *l*.

Cette faible consommation tient à deux causes principales :

1° A l'absence d'un réseau d'égouts pouvant recueillir les eaux ménagères et autres provenant des maisons de la ville et des faubourgs.

2° A l'état d'inachèvement des canalisations qui ne permet pas le nettoyage et l'arrosage dans la plupart des rues.

Les maisons même récentes ne peuvent mettre l'eau à la disposition des locataires, au moins en quantité suffisante, car ce sont les puits absorbants qui seuls peuvent servir à l'évacuation, et ils seraient vite saturés si la consommation se développait.

Jusqu'ici la plupart des maisons de l'ancienne ville utilisent encore, même pour la boisson, leurs puits qui vont à faible profondeur dans la nappe même des puits absorbants. Par mesure de salubrité publique la municipalité devait donc faire fermer la plupart de ces puits et développer la canalisation d'eau potable ; mais avant tout il faudrait créer un réseau d'égouts à section suffisante et bien étanches.

Un grand pas a été fait par la municipalité, le jour où elle a obtenu le droit de raser remparts et murailles; elle a encore devant elle un grand programme à remplir, l'assainissement de la ville : le pittoresque y perdra, mais l'hygiéniste a plus de droits que l'antiquaire de réclamer la réalisation de ses vœux.

Transformation du port. — Lorsque, descendant la Rambla, on débouche sur les quais, au pied de la colonne monumentale que surmonte la statue de Christophe Colomb, on est frappé de la vaste étendue du port, du développement des digues et de l'importance des travaux exécutés.

(1) L'eau de Dos Rios ne marque que 19° à l'hydrotimètre.

Il nous a paru intéressant de rechercher et de mettre en lumiere l'organisation qui a réalisé cette œuvre grandiose.

Les mémoires publiés à diverses époques par la *Junta*, que nous déposons à la Bibliothèque de la Société (1), nous ont fourni un grand nombre de renseignements; et nous avons consulté également avec fruit l'« Étude sur les ports de la Méditerranée », rédigée par M. P. Laroche, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et imprimée en 1885 à l'Imprimerie Nationale, à Paris.

L'exécution des grands travaux des ports maritimes nécessite, en peu d'années, des dépenses considérables qui, par leur nature même, doivent être en dehors des budgets ordinaires du pays.

Pour la création des ressources nécessaires, il y a toujours eu deux modes de procéder très différents :

Ou bien c'est une Compagnie particulière qui se forme, obtient l'autorisation de percevoir des droits spéciaux, et réunit le capital dont elle peut ainsi fournir les intérêts et l'amortissement. C'est la méthode suivie dans la plupart des pays du Nord de l'Europe, le long des côtes de l'Océan. La Compagnie exécute ses travaux sous la surveillance de l'État.

Ou bien c'est l'État qui, sur le compte du budget extraordinaire, entreprend lui-même les travaux et prélève des droits spéciaux; tel est le mode de procéder en France, et ce même mode nous le retrouvons à Gênes, à Venise, à Trieste. Ce n'est que pour les détails de l'outillage et pour leur exploitation que l'État admet l'intervention des associations particulières telles que les chambres de commerce.

A Barcelone, c'est l'État qui prit tout d'abord en mains l'exécution des travaux.

Avant 1860 il n'existait à Barcelone qu'une simple jetée, dirigée N.-S. qui, par l'obstacle qu'elle créait, avait donné naissance à la pointe de Barcelonnette. Le mouillage abrité par cette digue, était ouvert en plein vers le Sud, et c'est précisément du S.-O. au S.-E. que soufflent les vents en tempête.

Amenés par les courants parallèles à la côte, les sables venant du Bésos dépassaient la tête du môle et formaient à l'entrée du port une barre, qui ne laissait nulle part plus de 3,50 *m* d'eau.

Le port était donc fermé à tout navire calant plus de 11 à 12

(1) Memoria sobre el progreso y adelanto de las obras del Puerto de Barcelona durante el año económico de 1878 à 1879 — 1879 à 1880 — 1880 à 1881 — 1881 à 1886.

pieds au maximum; les vagues venant du large brisaient sur cette barre et déferlaient jusqu'au fond du port.

Une loi du 30 avril 1856 autorisait l'État à percevoir à l'entrée du port de Barcelone des droits spéciaux en vue de l'exécution de grands travaux d'amélioration ; des plans furent préparés lentement; ils furent approuvés, après de longs retards, mais leur réalisation marchait plus lentement encore ; on se contenta de prolonger l'ancienne digue ou digue Est et on commença vers 1865 une digue Ouest, enracinée aux flancs de la colline de Monjuich, et s'avançant perpendiculairement à l'autre de façon à fermer l'entrée du port aux vents dangereux.

Le commerce était actif; malgré son peu de sécurité le port était fréquenté, et les taxes spéciales rentraient; mais elles se perdaient dans le budget général de l'État.

Le mal s'aggravait de plus en plus avec la situation politique, et tous les travaux étaient suspendus en fait depuis longtemps, quand la Révolution du 29 septembre 1868 qui chassa la reine Isabelle, vint mettre le comble à la désorganisation administrative et financière.

Les droits ne se percevaient même plus régulièrement ou n'arrivaient qu'en faible partie au Trésor public.

La Junta. — C'est alors qu'un certain nombre d'hommes énergiques de la ville se groupèrent en dehors de toute question de parti pour prendre en mains l'affaire du port. Ils obtinrent par décret du 11 décembre 1868 la création d'une « Junta de las obras del Puerto » qui fut composée des personnalités les plus marquantes de la bourgeoisie ou du commerce; si l'État abandonna aussi facilement ses droits en cette occasion, c'est que la Junta déclara qu'elle ne demanderait aucune subvention au gouvernement; elle accepta de poursuivre l'amélioration et la transformation du port en ayant pour toute ressource les droits spéciaux.

Mais, elle posait la condition et obtenait le droit d'exercer elle-même un contrôle journalier permanent sur toutes les perceptions opérées par les agents du gouvernement; et elle exigeait que chaque soir les fonds perçus fussent versés par l'État à la Caisse de la Junta.

D'une année à l'autre, par le seul fait de ce contrôle, les droits doublèrent presque, au grand bénéfice des finances de l'État: les membres de la Junta avaient vu d'assez près les fraudes pour y

remédier et leur responsabilité financière était trop engagée pour qu'ils hésitassent à le faire.

Un règlement longuement préparé et débattu et enfin signé le 22 juin 1872 établit définitivement les relations entre la Junta et l'État : la Junta a l'initiative des travaux ; rien ne peut se faire en dehors d'elle ; mais, d'autre part, l'autorisation de l'État est nécessaire pour qu'un projet quelconque puisse être mis à exécution.

Tandis que l'Espagne était en pleine désorganisation, que six gouvernements se succédaient du 29 septembre 1868 au 29 décembre 1874 et que le crédit de l'État était au plus bas, la Junta agissait. Elle exécutait les travaux autorisés antérieurement à sa constitution ; elle émettait sans difficulté au-dessus du pair les obligations qui lui étaient nécessaires. Les trois tableaux ci-joints donnent un intéressant aperçu sur toute cette administration depuis sa création jusqu'au 30 juin 1886 (voir tabl. I, II et III, p. 267, 268 et 269). On peut le dire, dans l'affaire du port de Barcelone, la Junta est presque tout et l'État presque rien. Mais avant de décrire les travaux exécutés, voyons d'abord l'origine des ressources.

Droits de déchargement. — Dans la plupart des ports du monde, la presque totalité des droits est basée sur le tonnage des navires. En Espagne, au contraire, il n'y a aucun droit sur le tonnage ; il n'y a qu'une seule taxe, qui incombe tout entière sur la marchandise chargée ou déchargée dans le port. C'est ce qu'on apppelle le « derecho de descarga ».

En Espagne, la marchandise paye tout, le navire ne paye rien.

Ce fait que les navires ne payent rien sauf, bien entendu, quelques droits de pilotage, attire les navires dans ses ports et on peut se demander s'il n'y aurait pas là une forme d'impôt à emprunter à l'Espagne.

Il est bon d'ailleurs de noter qu'en Angleterre, parmi les nombreuses taxes qui frappent un navire, plusieurs reposent sur la marchandise.

Les droits de port perçus par l'État au profit du budget général sont les suivants :

Droits de déchargement sur la marchandise.

	Pesetas		Kil.
Importation d'Europe.	1,50	par	1.000
— de l'Amérique étrangère.	2,50		—
— des Antilles et Philippines	0,75		—
Droit spécial sur la houille et le coke.	0,25		—

Pour le cabotage.

	Pesetas	Kil.
Droit sur la houille et le minerai de fer.	0,10	par 1.000
— toutes les autres marchandises	0,75	—

Passagers à l'arrivée.

Passagers venant d'au delà des mers.	1,25	par personne
— de l'Étranger . . .	0,75	—
— par bateau de cabotage	0,50	—

Droits de chargement sur la marchandise.

Exportation vers l'Étranger	1 »	par 1 000
— l'Amérique Étrangère.	2 »	—
— — Espagnole.	0,50	—
Sortie par cabotage	0,50	—

Passagers à la sortie.

Passagers allant à l'Étranger	1 »	par personne
— vers l'Amérique Étrangère.	2 »	—
— — Espagnole.	0,50	—
— sortant sur caboteur. . . .	0,50	—

Droit spécial perçu pour l'exécution des travaux du port
(et versé jour par jour à la Junta).

Provenances de l'Étranger et de l'Amérique.	2 »	par 1 000
Provenances des Antilles, des Philippines et du cabotage	0,60	—

Ce sont les recettes opérées en vertu de ce droit qui constituent les sommes portées dans la première colonne du tableau nº I ci-joint (p. 267).

On remarquera que depuis une quinzaine d'années les recettes et par suite le tonnage du port ont presque doublé et qu'actuellement la Junta a annuellement à sa disposition une somme de 1 500 000 à 1 600 000 pesetas de recettes ordinaires, et qu'en dix-huit ans, elle a eu près de 20 millions de recettes ordinaires pour subvenir aux dépenses des travaux dont elle était responsable.

Quel est l'emploi qui a été fait de ces sommes et dans quelle limite a-t-il fallu recourir au crédit pour activer les travaux? C'est ce que nous nous proposons d'examiner rapidement.

Description des travaux. — L'ancienne jetée Ouest, ou ancien môle, en arrêtant les sables apportés par le torrent *le Bésos*, a créé la plage sablonneuse sur laquelle s'est construite peu à peu la petite ville de Barcelonnette ; mais pour maintenir libre l'entrée du port il a fallu la prolonger successivement par le Môle Neuf, puis par la digue du Levant; elle a une longueur totale de 1 270 *m* depuis la naissance du Môle Neuf.

L'ancien môle ne doit plus entrer en ligne de compte ; car il n'est plus réellement qu'un mur de quai depuis que sur les apports de la mer sont venues s'élever toutes les constructions de Barcelonnette.

Sur cette longueur de 1 270 *m*, 813 *m* sont en ligne droite et 457 *m* se recourbent suivant un cercle de 320 *m* de rayon pour se diriger finalement vers l'Ouest et fermer ainsi l'entrée du port aux tempêtes venant de l'Est et du Sud-Est.

En tête, par 15 à 16 *m* de fond, se trouve un musoir circulaire que surmontera avant peu un feu fixe d'entrée (voir pl. 195, fig. 1).

Partant du pied du Montjuich, et marchant droit vers l'E.-S.-E. se trouve la jetée Ouest, qui s'avance à 641 *m* au large, pour aller se terminer par 16 *m* de fond, en laissant une passe large de 280 *m*.

Cette jetée Ouest arrête les sables qui pourraient venir de l'embouchure du Llobrégat, et les vagues des tempêtes du Sud-Ouest.

Entre ces deux digues se trouve une surface de 118 *ha* d'eau calme.

Des môles intérieurs divisent cette étendue en un avant-port de 61 *ha*; une darse du commerce de 43 *ha*, et, du côté de Barcelonnette une darse de l'industrie de 14 *ha*.

La profondeur d'eau à l'entrée du port est de 16 *m*.

Le long de la digue du Levant se trouve toute une zone où la profondeur varie de 10 à 16 *m*, elle est destinée aux navires de guerre, et c'est là que s'étaient groupés une partie des gros cuirassés de toutes les nations en septembre dernier.

Dans tout le reste de l'avant-port, les profondeurs varient de 8 à 10 *m*. Et dans les deux darses la profondeur est presque partout de 8 *m*. Toutes ces profondeurs ont été obtenues par des dragages exécutés principalement de 1872 à 1875.

L'examen des deux plans ci-joints permet de comparer l'état actuel du port et ce qu'il deviendra si tous les projets arrivent à être exécutés (Pl. 195, fig. 1 et 2).

Projets. — On arriverait à posséder :

9 824 *m* de quais, dont 8 057 dans le port et 1 767 dans l'avant-port;
68 698 m^2 de hangars couverts sur les quais;
et 97 471 m^2 de magasins (en comptant les divers étages).

Le tout serait desservi par 29 *km* de voies ferrées, et 186 plaques tournantes; la plupart des jetées seraient d'ailleurs abordables directement par aiguillages, et les plaques ne serviraient qu'aux manœuvres secondaires.

Le long de tous ces quais seraient disposées 124 grues hydrauliques fixes ou mobiles de forces variables de 1 1/2 à 100 *t*.

État actuel. — Quand on a passé quelques jours à Barcelone, et qu'on a suivi avec quelque attention les mouvements du port, on peut se demander si l'exécution complète de ce vaste plan est bien nécessaire, et si, sous certains rapports, les nécessités actuelles n'ont pas été dépassées.

Le long des quais dorment déjà une trentaine de grues hydrauliques (1) qui ne servent que de loin en loin, tant les habitudes locales sont invétérées. Elles sont immobiles le long des magasins vides et de rails qui rouillent à l'air, tandis que les navires au lieu d'accoster, restent au large et déchargent dans des gabares, d'où les marchandises sont enlevées à dos d'hommes et transportées par charrettes.

Mode de construction. — Malgré notre incompétence en fait de travaux maritimes, nous avons été de suite frappé d'un fait en circulant sur les digues : c'est du faible volume des blocs naturels ou artificiels employés dans la construction et de l'emploi simultané, même dans les parties les plus exposées aux coups de mer, de blocs naturels provenant de couches très diverses.

La colline de Montjuich, presque à pic le long de la mer, est la seule carrière qui puisse être utilisée. Elle est formée d'une alternance de couches de grés, de poudingues et de calcaires plus ou moins argileux. Ce sont des couches qui appartiennent au Miocène Moyen, caractérisé par *l'ostrea crassissima.*

(1)

1	grue fixe de	25	*t*	pesant 105	*t*
2	—	3	—	»	—
10	—	1 1/2	—	10	—
1	grue mobile	12	—	33	—
2	—	3	—	16	—
14	—	1 1/2	—	15	—

mues par une machine Compound à 3 cylindres de 200 chevaux, type vertical, actionnant trois pompes hydrauliques du système Ellington. Pression hydraulique de marche: 57 atmosphères.

C'est le terrain contemporain des grands dépôts de Mollasse et de Nagelfluh de la Suisse centrale (environs de Berne et de Fribourg). C'est aussi à cette même époque, mais avec un facies très différent, qu'appartiennent les grandes carrières de Beaucaire et d'Arles, dans le Midi de la France.

Au point de vue de la construction, les différentes couches de Montjuich ont une valeur très inégale : les unes, à ciment calcaire ou nettement siliceux, résistent bien aux agents atmosphériques; mais plusieurs des couches à ciment argileux, se délitent rapidement sous l'action des agents atmosphériques, et nous avons constaté, non sans quelque étonnement, qu'il n'était fait, avant emploi dans les digues, qu'un triage très insuffisant, de sorte qu'on voit des blocs qui se délitent et se fondent à la mer.

Sur ces empierrements formés de blocs qui n'ont souvent pas plus d'un demi-mètre cube, sont employés des blocs artificiels qui n'ont jamais plus de 10 m^3.

Les ingénieurs qui, à l'origine, ont conçu et exécuté ces travaux, justifiaient l'emploi de ces matériaux de dimensions réduites, en disant qu'en réalité le port de Barcelone n'était pas librement ouvert aux vents de tempête; ils affirmaient que les îles Baléares, malgré leur éloignement, formaient au large un immense brise-lames (1).

Plusieurs tempêtes successives qui sont venues culbuter tous les matériaux, transporter des blocs artificiels tout entiers du versant extérieur sur le versant intérieur, et couper la digue Est, ont montré ce qu'avait d'illusoire cette protection lointaine; et maintenant, tout en continuant à réparer au plus vite les brêches, avec les matériaux qu'ils ont à leur disposition, les ingénieurs du port sentent la nécessité de s'outiller pour produire et mettre en place des blocs de 25 et 30 m^3, sur toute la face extérieure des jetées.

Gestion de la Junta. — Si l'on jette un coup d'œil sur le tableau n° 2 (page 267), qui résume les dépenses effectuées par la Junta, on est frappé de voir deux phases dans l'activité de ce corps administratif.

A peine constituée, en 1869, malgré les circonstances politiques si défavorables, s'isolant en quelque sorte du reste de l'Espagne, la Junta tient à honneur de justifier l'autorisation qu'elle a enlevée de haute lutte du gouvernement.

(1) La distance en ligne droite est de 180 à 190 kilomètres.

Elle trouve des plans préparés et autorisés; elle emprunte coup sur coup à des taux toujours de plus en plus avantageux, successivement 3 millions et demi de pesetas, elle construit la digue, elle drague le port, elle commence quelques quais.

Mais il est plus difficile pour elle d'obtenir une signature à Madrid, que de dompter les éléments; et elle se trouve complètement arrêtée par l'impossibilité de faire adopter par le ministère « del Fomento » les plans qu'elle avait étudiés avec grand soin. Les travaux ne purent être repris qu'en 1878-79. Elle continuait cependant à percevoir les droits de port, l'argent s'accumulait; elle sollicitait l'autorisation de profiter de cette situation financière si brillante pour convertir sa dette 7 0/0 en une dette à un taux moindre. Depuis plus de 15 ans, cette autorisation vainement sollicitée ne peut être obtenue; au moins la dette a-t-elle été amortie largement par anticipation. Malgré cela, il est resté à la Junta des sommes suffisantes pour exécuter les travaux enfin autorisés sans demander au crédit plus de 500 000 pesetas.

C'est ainsi qu'au 30 juin 1886, il ne restait même plus 2 millions et demi de dettes à la Junta; et la part des droits de port qui lui reviennent atteint annuellement 1 500 000 à 1 600 000 pesetas; ce qui correspond à un trafic de 900 000 à 1 000 000 *t* de marchandises à l'entrée. Ce trafic s'effectue pour plus de 8/10 par navires à vapeur.

Le tableau des perceptions à l'entrée montre un développement assez continu, mais en réalité lent des mouvements du port (1). Le trafic n'a nullement augmenté dans les proportions des facilités qui lui sont offertes; et on peut se demander si l'exécution complète de toutes ces jetées, de tous ces magasins est une nécessité.

Il est par contre un accessoire que nous avons vainement cherché à Barcelone, ce sont des formes de radoub et de cales sèches. Elles manquent absolument; et par suite d'une malheureuse concession par l'État à la Compagnie du chemin de fer de Reuss du seul emplacement qui eût pu convenir, il semble que le port doit se passer encore longtemps de cet élément indispensable. Ne nous en plaignons pas trop, car c'est Marseille qui reste jusqu'ici la seule ressource des navires qui ont besoin de réparations sérieuses. Pour parer au moins partiellement à cette lacune, la Junta a commandé une cale flottante du type Clark et Stanfield.

Quoiqu'il en soit, et malgré ces quelques légères critiques, nous

(1) Les recettes de l'année 1886-1887 ont été encore en augmentation, elles ont atteint 1 696 017 pesetas, tandis que les dépenses sont montées à 1 897 868 pesetas.

ne pouvons trop féliciter la Junta et les ingénieurs du port des beaux travaux exécutés. Il est très remarquable de voir une association privée exécuter, en dehors de tout appui du gouvernement, d'aussi grands travaux, presque sans engager l'avenir ; et nous pouvons nous demander si dans certains de nos ports une organisation semblable à celle de la Junta ne serait pas le plus sûr moyen de réaliser rapidement et économiquement les travaux projetés.

Industrie et Commerce. — Ce port que nous connaissons maintenant, quel rôle joue-t-il dans la vie économique de l'Espagne ? C'est avant tout un port d'importation (1).

C'est par lui qu'entrent, pour se disperser dans la vallée de l'Ebre, la houille anglaise (2), les fers et toute la quincaillerie anglaise, allemande et belge ; le coton et la laine qui alimentent les nombreuses filatures et les tissages échelonnés tout le long des cours d'eau ; les grains et autres matières alimentaires qu'un sol peu fertile produit en quantité insuffisante pour une population pourtant clairsemée. Pour l'exportation, le seul élément sérieux est le vin, et encore Tarragone fait-il à Barcelone une sérieuse concurrence.

Nous nous sommes trop peu arrêtés dans le pays pour pouvoir donner même un aperçu des industries si diverses qui se sont créées dans toutes les villes ou villages qui entourent Barcelone. A Sans, nous avons visité un grand établissement qui, sous le nom d' « Espana industrial », comprend à la fois filature, tissage, teinture et impression. Chaque année, près d'un million de kilogrammes de coton est transformé en tissus divers qui s'écoulent dans toute l'Espagne. Créé en 1835 par M. Muntadas, cet établissement qui s'étend sur une superficie de plus de 14 hectares, dont près de la moitié sont couverts de constructions, occupe en temps ordinaire près de 1 500 ouvriers (hommes et femmes). Au moment

(1) D'après les états de douanes de 1885, il a été importé par le port de Barcelone pour 122 millions de pesetas, et exporté seulement pour 21 millions.
Le tonnage des principaux produits est :

325 000 *t* de charbon,
30 000 *t* de blé,
17 000 *t* de céréales divers,
20 000 *t* d'alcool,
15 000 *t* de fer,
6 000 *t* de morue salée,
5 000 *t* de coton.

(2) La houille anglaise revient entre 25 et 27 *f* la tonne sous vergues à Barcelone. Pour avoir le prix de consommation aux usines, il faut y ajouter environ 4 fr. 50 par tonne pour droits de douane, frais de port, frais de déchargement.

où nous le visitions, l'établissement était en grande partie arrêté pour une transformation complète de son outillage. Une grande machine Compound de 800 chevaux prenait la place d'anciennes machines à balancier. La plupart des anciens outils de la filature étaient démolis pour être remplacés par des machines du plus récent système ; toutes les Self-Acting en particulier faisaient place aux Ring-Curseur. Les ateliers réorganisés comprendront 40 000 broches et 1 000 métiers à tisser mécaniques.

Nous eussions désiré ne pas quitter le pays sans aller à Sabadell et à Tarrassa voir quelques-unes des nombreuses filatures et des tissages de laine auxquels travaillent près de 15 000 ouvriers ; les fabriques de produits chimiques des environs de Barcelone, les ateliers de construction de matériel de chemin de fer de San-Martin-de-Provansals, les scieries de marbre et tant d'autres industries sollicitaient aussi notre attention.

Les importants travaux hydrauliques de la Compagnie française de Don-Rios qui alimente pour une forte part la ville de Barcelone, comme aussi les usines à gaz que possède dans les divers quartiers de Barcelone la Compagnie Lebon, de Paris, auraient aussi mérité notre visite.

Mais au moins avons-nous pu passer quelques heures très intéressantes dans les grands ateliers de construction de Barcelonnette, connus sous le nom de la « Maquinista Terrestre y Maritima ». Ce grand établissement, qui vient de fêter le cinquantenaire de sa fondation, a déjà peuplé, ainsi que le rappelle le bel album qui nous a été remis, beaucoup des ateliers espagnols de machines à vapeur et de machines-outils de tous genres ; a jeté plus de 200 ponts sur toutes les rivières et plusieurs sont des travaux des plus importants de 300 et 350 *m* de longueur.

Les machines motrices de plusieurs grands navires sont déjà sorties de cet établissement, et les ateliers sont actuellement en pleine transformation pour se mettre en mesure d'exécuter des commandes que vient de lui remettre le gouvernement espagnol.

Il s'agit des chaudières et des machines motrices pour deux grands croiseurs cuirassés, le *Lépanto* et le *Alfonso XIII*, dont les coques sont en montage dans les arsenaux du gouvernement espagnol, l'une à Cadix, l'autre au Ferrol.

Ces croiseurs de 6 000 *t* chacun, doivent pouvoir réaliser, en cas de tirage forcé, la vitesse de 22 à 23 nœuds ; les machines développeront 11 500 chevaux avec tirage forcé, et 7 800 chevaux en marche normale. Chaque navire est pourvu de 32 corps de chau-

dières ; le corps extérieur est en tôle d'acier doux de 30 *mm* d'épaisseur, il a 4,80 *m* de diamètre. Les foyers intérieurs sont en tôle ondulée, sans soudure, de fabrication anglaise.

Quant aux machines, elles sont à triple expansion, avec un grand cylindre de 3 *m* de diamètre. Chaque croiseur a deux machines et deux hélices indépendantes l'une de l'autre.

Le grand cylindre, dont nous avons vu une pièce sortie de la fosse et l'autre en moulage, est certainement une des belles pièces de fonderie qu'on puisse exécuter ; il pèse 32 *t* et les distributions sont venues de fonte avec le corps principal.

Quant aux grandes pièces de forge, telles que l'arbre de couche qui a 45 *cm* de diamètre extérieur et est évidé (diamètre du vide, 18 *cm*), elles viennent d'Angleterre.

La fonderie était dès longtemps en état de produire ces grandes pièces; mais pour exécuter rapidement et avec toute la perfection désirable la grosse chaudronnerie, il a fallu installer une série de machines hydrauliques à cintrer et riveter des plus remarquables (type Tweddel). L'ambition des Catalans est loin d'être satisfaite par ces commandes de machines, et en nous montrant les portes de l'usine qui donnent sur la mer, ils nous parlaient du temps où des cuirassés et de grands steamers seraient lancés de là, pour aller s'achever à flot devant l'autre façade des ateliers, dans le port de Barcelone.

Mais nous reviendrons sur cette question des constructions maritimes que nous retrouverons à Bilbao.

Le Tibidabo et le Mont Serrat. — Après nous avoir montré leur port, leur ville et leur industrie, nos collègues ont voulu encore nous faire connaître leur pays lui-même ; un jour, ils nous ont invités à un banquet sur le Tibidabo, la plus élevée (531 mètres) des collines qui sont comme une ceinture autour de Barcelone. Formée par un relèvement presque vertical de schistes anciens, que traversent plusieurs puissants filons granitiques parallèles entre eux et dirigés N.-N.-E, S.-S.-O., cette colline domine de toutes parts le pays :

Vers l'est, c'est le vaste amphithéâtre si peuplé dont Barcelone occupe le centre, et dont les flancs sont semés de si riches villages, et de résidences véritablement princières où il nous a été donné d'admirer les splendides jardins plantés de palmiers, d'orangers et de tous les arbres les plus rares des pays chauds.

En avant, c'est la vaste mer bleue, dans laquelle plongent au N.-E. les derniers contreforts des Pyrénées.

Vers l'Ouest, entre deux lignes de collines, c'est une région boisée qui vous étonne, tant le pays est généralement dénudé et aride.

Au loin, vers le Nord, se projettent sur le ciel les hardies découpures du Mont Serrat, qui laissera de si agréables souvenirs à tous ceux qui en ont gravi les flancs.

L'excursion au Mont Serrat a été le digne couronnement du séjour à Barcelone.

Un matin, au petit jour, nous montons en chemin de fer. La plaine de Barcelone est vite derrière nous et nous grimpons en sillonnant les flancs des collines. Les gorges sont étroites, les roches sont redressées verticalement et de grands filons quartzeux montrent leurs crêtes hardies au travers des airs. Les plissements sont des plus bizarres; nous rencontrons tantôt des argiles et des marnes du trias, tantôt des schistes anciens, et nous finissons par descendre du train à une petite gare campée sur une étroite terrasse entre deux tunnels.

De vieilles diligences attelées chacune de cinq mules aux clochettes sonores nous attendent; mais nous ne serons pas seuls pour nous aventurer au travers de ces gorges et ravins; deux « Mosas de la Squadra », gendarmes catalans, nous attendent au port d'arme; leur attitude martiale, leur mousqueton et la solide corde qui pend à leur côté rassurent les plus craintifs, et nous partons. Mais dans ce pays où il ne pleut jamais, il est tombé tant d'eau en quelques heures, que les routes sont coupées en plusieurs endroits les schistes lustrés entamés par la base glissent sans cesse, et à chaque averse sur quelques points, ces routes nouvellement établies sont obstruées; mais nous passons tout de même, et après quelques heures de marche et de voiture, nous finissons par arriver, au fond d'une gorge étroite, à un établissement thermal assez primitif.

Nous sommes dans les contreforts des Pyrénées, aussi la Puda de Montserrat est-elle une source sulfureuse tiède, qui n'est pas sans beaucoup d'analogie avec les Eaux-Bonnes.

Ceux qui aiment le pittoresque pourront y venir, mais les dames qui aiment le confort et la société, feront bien de ne pas pousser jusque-là. Après un déjeuner rustique, arrosé de bon vin du cru, nous commençons à grimper, qui à pied, qui en voiture, pour aller coucher au couvent, vers 800 *m* de hauteur.

Nous avons abordé le Mont Serrat par le seul côté où il semble se rattacher aux montagnes du voisinage; de tous les autres côtés il s'élance à pic, sur plus de 1 000 *m* de hauteur, dominant la plaine indéfinie du Llobrégat. Le nom que porte la montagne et l'armoirie des Pères Bénédictins sont bien vrais : cet écusson représente une montagne qu'entame une scie. C'est bien en effet une montagne sciée, déchiquetée à pic par de grandes coupures.

L'une de ces puissantes failles restée béante par le bas, et refermée par le haut, a formé ces bizarres grottes de Salitre que quelques-uns de nous ont parcourues le lendemain à leur descente de la montagne.

Tout le Mont Serrat n'est qu'un témoin gigantesque des dépôts de l'époque éocène.

Sur plus de mille mètres de puissance, se succèdent des alternances de grés et de poudingues à gros galets arrondis; les galets sont les plus divers d'origine, les calcaires crétacés sont mélangés à des silex noirs ou verdâtres, à des schistes anciens, à des granits et à des porphyres.

Brusquement, au milieu de ces dépôts de gros galets, se trouvent intercalées des masses de grés très fins de couleur rouge vif; on dirait que le torrent ravinait le pied d'une falaise de grés et qu'un bloc immense, se détachant des bords, est venu de distances en distances provoquer un remous et un dépôt de galets qui l'ont protégé contre toute érosion ultérieure.

Ces alternances de grés fins et de poudingues deviennent plus rares au fur et à mesure que l'on monte, et toute la partie supérieure de la montagne n'est formée que de poudingues à gros éléments : brisées par les failles, corrodées par les agents atmosphériques, ces couches, si l'on peut donner ce nom à des dépôts aussi tumultueux, ont pris les formes les plus bizarres.

Un doigt complètement vertical de tous côtés, sur 100 ou 150 *m*, quand il n'est pas en surplomb, défiera longtemps les plus hardis alpinistes.

Quant à l'ascension nocturne de la cime — le San Jéronimo — pour voir le lever du soleil éclairant les cimes neigeuses des Pyrénées, c'est une excursion pour dames, quoi qu'en disent les guides du pays; la Reine Régente l'a bien prouvé en faisant cette ascension il y a quelques mois sur le dos d'une mule dont un de nos collègues est heureux d'apprécier le pas rapide et sûr.

Nous n'en dirons pas tout à fait autant de la promenade dans les grottes où il faut sans cesse se hisser sur les blocs éboulés ou se

glisser dans les fissures étroites de la roche. Pour qui ne connaît que les grottes de dissolution des roches calcaires, cette grande fissure mal refermée, avec ces blocs pincés entre les lèvres de la faille, qui semblent vous menacer sans cesse, laisse certainement une durable impression.

Nous avions déjà admiré le pays sous bien des faces diverses. Une aimable invitation de M. Godard fils nous permit de le voir à vol d'oiseau, du ballon captif qui s'élevait à 350 *m* de hauteur d'un enclos voisin de l'Exposition.

Exposition de Barcelone. — Tant de courses diverses nous laissaient bien peu de temps pour l'Exposition, qui aurait mérité une étude plus approfondie. La section officielle espagnole avec son exposition minière et minéralogique, était réellement remarquable.

Chaque province était là avec ses produits naturels :
Almaden avec son cinabre et son mercure,
Huelva avec ses pyrites cuivreuses,
Carthagène avec ses minerais de fer et de manganèse,
La Biscaye avec ses minerais de fer,
Les Asturies avec ses houillères,
Cacérès avec ses phosphorites,
La Catalogne avec ses sels gemmes de Cardona ;
et, dominant toutes ces expositions locales, le grand panneau de la commission de la Carte géologique avec ses nombreuses cartes les unes encore manuscrites, beaucoup déjà publiées.

Au milieu des expositions étrangères, c'était certainement la section française qui formait le plus imposant ensemble, et le nombre des hautes récompenses obtenues par les maisons françaises rappellera sans doute à plus d'un Espagnol que l'industrie française est loin d'être déchue, ainsi que l'on a trop cherché à le faire croire.

Si le commerce français a perdu du terrain en Espagne, il doit certainement s'accuser un peu lui-même de nonchalance. Nous avons été frappé en effet de bien des observations qui nous ont été faites par des négociants espagnols : Nous ne vous voyons jamais et nous sommes assaillis d'offres des autres pays.

Il est bien vrai de dire que les absents ont toujours tort, et si la France a perdu en partie sa clientèle, c'est qu'elle l'a négligée tandis qu'elle était circonvenue par d'autres. A nous de profiter de l'impression produite par la vue de notre puissance indus-

trielle, pour attaquer de nouveau cette position et regagner le terrain perdu.

Tous ceux qui ont été des nôtres en Espagne vous diront l'accueil sympathique qu'on est assuré d'y trouver, aussi bien dans la Catalogne que nous venons de parcourir qu'en Biscaye où nous allons passer maintenant.

BILBAO.

Entre Barcelone et Bilbao. — De la route de Barcelone à Bilbao, des quelques heures de nuit passées à parcourir Saragosse au clair de lune, nous ne dirons que peu de mots.

Le chemin de fer à peine sorti du contrefort de la chaîne côtière qu'il traverse en sortant de Barcelone, redescend dans la vallée de l'Ebre et de ses affluents et il s'avance pendant de longues heures au milieu de vignobles qui se succèdent à perte de vue.

Le désastre de notre Midi phylloxéré a provoqué des plantations sur des étendues sans limites et, en quelques années, a apporté un commencement de richesse dans ces pays désolés ; mais que sera-ce si nos vignes, greffées sur plants américains, tiennent ce qu'elles semblent promettre et si notre production vinicole se relève ou même se maintient au taux de l'année qui finit ?

A une crise par disette, est-ce une crise par pléthore de vins qui va se produire ?

Il est difficile de ne pas le craindre, quand de Tarascon on est entré en Espagne par Narbonne et qu'on en sort en remontant toute la vallée de l'Ebre.

Tout en échangeant ces craintes, nous avançons et nous grimpons lentement vers le massif qui nous sépare de l'Océan. Les rampes se succèdent presque sans interruption et se maintiennent toutes au-dessous de 7 *mm* par mètre, sauf sur deux kilomètres où on arrive à 10 *mm* par mètre. Sous le mont Gujuli on atteint la ligne de faîte à 624 *m* de hauteur; et maintenant il faut, sur un parcours de moins de 50 *km*, regagner le niveau de la mer à Bilbao. La voie circule à flancs de coteau; elle tourne et retourne sur elle-même ; autour d'Orduña elle passe deux fois à 200 *m* de différence de niveau.

Le pays a changé brusquement d'aspect : aux montagnes arides et nues succèdent, sur ce versant, des pâturages, des prairies.

Du côté de Barcelone, les statistiques hydrométriques n'indiquent que des chutes de 500 à 600 *mm* d'eau par an, tandis que vers Bilbao et San Sébastien, il tombe 1 500 à 1 600 *mm* d'eau par an.

Sur le versant oriental, les chutes sont rares et torrentielles.

Sur le versant occidental, les jours de pluie sont les plus nombreux dans l'année.

La race également a changé; nous voyons le Basque, le Béarnais, trapu et vigoureux, qui forme un si excellent élément pour l'exploitation des richesses minérales que nous allons visiter à Bilbao.

Au sortir de la gare, nous débouchons sur le quai et nous nous trouvons en face de steamers de 2 000 *t* amenés en pleine charge sur cette étroite rivière du Nervion au pont même de Bilbao, à 13 *km* de la mer.

C'est là cette rivière dont la barre était réputée si dangereuse et dont le cours sinueux avec ses bancs de sable et de vase semblait opposer un obstacle infranchissable à la grande navigation.

C'est la transformation de cette rivière, son ouverture aux steamers du plus fort tirant d'eau, qui est le fait fondamental que nous devons tout d'abord étudier.

Les documents que l'ingénieur en chef des travaux, M. de Churruca, a bien voulu mettre à notre disposition, nous permettront de suivre toutes les phases de cette transformation.

Le Port de Bilbao.

Historique de Bilbao. — Des documents conservés dans les archives de Bilbao font, dès le XIIIe siècle, allusion à l'existence d'un port sur la rivière, ils signalent en même temps les difficultés apportées à la navigation par l'existence d'une barre extérieure au large de Portugalète, et de hauts fonds dans le milieu du parcours entre Bilbao et la mer.

Une ordonnance royale autorise déjà, en 1503, le prélèvement d'une taxe sur toutes les marchandises entrant et sortant dans la rivière; cette taxe devait être appliquée à l'amélioration de la passe au travers de la barre.

Le Consulado de Commercio. — C'est à cette même époque, aux premières années du XVIe siècle, qu'il faut faire remonter la création du *Conseil du Commerce* (Consulado de Commercio), qui, pendant plus de trois siècles, géra seul les intérêts commerciaux de la ville de Bilbao et fit exécuter sous sa surveillance directe les travaux d'amélioration de la rivière.

Il est extrêmement curieux de suivre dans une étude historique publiée en 1881 par M. de Churruca, les modifications qu'ont subies les projets et les idées en matière de travaux publics pendant cette longue période des XVIe, XVIIe et XVIIIe siècles.

La lutte se continue d'année en année contre l'ennemi invincible : la barre de Portugalète. Des progrès de détail sont réalisés le long du cours de la rivière ; là on peut constater des traces de travaux exécutés et quelques résultats acquis. Mais la barre est toujours là. On se rend même difficilement compte de ce qui fut tenté de sérieux contre cet obstacle.

En 1842, les tendances centralisatrices s'attaquent aux privilèges du Conseil du Commerce ; il perd la direction des travaux qui passe à l'administration royale des routes et canaux.

Pendant trente ans, de 1842 à 1872, le gouvernement fit et défit les projets les plus divers pour supprimer la barre, mais n'exécuta rien et se contenta d'appliquer partie des taxes à l'entretien des digues et quais en rivière, quitte à verser au trésor toujours obéré l'excédent des recettes.

La situation est ici identiquement celle que nous avons constatée à Barcelone. Malgré l'inertie du gouvernement, la vie se développe ; à Barcelone, nous avons vu un port d'importation ; à Bilbao c'est l'exportation qui progresse rapidement, grâce aux splendides gisements de Somorrostro sur lesquels l'attention universelle s'est portée depuis 1870.

Les résultats obtenus par la « Junta » de Barcelone en moins de trois ans (1869-1872), excitent l'émulation des habitants de Bilbao. Ils se souviennent du rôle qu'a joué pendant tant d'années leur *Consulado de Commercio ;* et la Chambre de commerce, associée à quelques particuliers hardis et entreprenants, fait appel, en 1872, à un ingénieur anglais très réputé, Sir John Coode, auquel ils demandent un projet général d'amélioration de la rivière.

Ce projet, rapidement ébauché, prévoit une dépense de 27 millions de pesetas ; il s'attaque à tous les obstacles qui arrêtent la navigation ; il coupe la barre par deux jetées latérales longues, l'une de 731 *m*, l'autre de 853 *m* ; et complète un avant-port en eau profonde par l'établissement d'un brise-lame de 1 400 *m* de longueur ; il supprime le grand coude d'Elorrieta sur la rivière, et opère un dragage général.

De ce vaste projet, certaines parties pouvaient paraître trop hardies ; la dépense pouvait paraître bien lourde. Mais un jalon était posé, il fallait agir.

La Junta de las Obras del Puerto. — A Bilbao, comme à Barcelone, les habitants comprirent qu'il n'y avait à espérer aucune action immédiate du gouvernement central d'alors, et ils réclamèrent avec énergie le rétablissement de l'ancien Conseil de commerce dans toutes ses prérogatives administratives et financières.

Heureux d'être déchargé de l'obligation de fournir les fonds, le gouvernement céda et autorisa, le 19 novembre 1872, la constitution d'une « Junta de Obras del Puerto de Bilbao ». Mais au moment même où le but semblait atteint, les carlistes se soulevaient et faisaient de Bilbao leur quartier général.

D'août 1873 à février 1876, toute exportation de minerai était arrêtée ; tout travail suspendu aux mines, sauf pour quelques petites usines de la région ; et il faut attendre le décret du 5 septembre 1877 pour voir enfin se reconstituer la Junta.

Ce n'est donc qu'avec l'année 1878 qu'ont été entrepris ces grands travaux qui, sous l'habile direction de M. de Churruca, ont en moins de six ans fait disparaître toute la série des obstacles et ouvert en toutes marées l'abord des appontements à 8 et 9 *km* en rivière, à des navires de 20 et 21 pieds et jaugeant 3 300 et même 3 400 *t*.

Gestion financière de la Junta

(*a*) *Recettes.* — Nous nous sommes assez étendus sur la constitution et l'organisation de la Junta de Barcelone pour ne pas avoir à y revenir en détail à propos de Bilbao.

La Junta de Bilbao est, comme celle de Barcelone, armée de pouvoirs étendus pour contrôler les perceptions; elle reçoit jour par jour les sommes et les conserve dans une caisse absolument indépendante des caisses de l'État. Si les principes administratifs sont les mêmes, la nature des ressources est très différente. Tandis qu'à Barcelone l'État maintient les taxes perçues à son profit et autorise la Junta à percevoir seulement des taxes supplémentaires *sur les importations* de marchandises ; à Bilbao, où tout est à créer, où de la rapidité de l'exécution des travaux dépendra le développement de la richesse publique, la totalité des taxes à l'importation établies sur le même taux qu'à Barcelone, et des taxes légères établies à l'exportation sont intégralement versées à la Junta pour être appliquées par elle aux travaux publics.

Ces taxes sont les suivantes:

I. — Droits a la sortie, *par tonne :*

(a) Transports pour l'Étranger ou les pays au delà des mers.

Sur les minerais.	pesetas	0,25
— les matières en général. . . .	—	0,25

(b) Transport au cabotage.

Sur les minerais.	pesetas	0,125
— les matières en général. . . .	—	0,25

II. — Droits a l'entrée, *par tonne :*

(a) Transports venant de l'Étranger ou de pags au delà des mers.

Sur les matières en général, venant de l'Amérique espagnole.	pesetas	0,75
Sur les matières en général, venant des autres parties de l'Amérique.	—	2,50
Sur les matières en général, venant d'Europe	—	1,25
Sur le charbon étranger.	—	0,25

(b) Transport au cabotage.

Sur les matières en général. . . .	pesetas	0,75
Sur le charbon national.	—	0,25

Le tableau nº 7 (page 272) donne année par année les mouvements du port de Bilbao, avec la subdivision par matières principales, tant à l'entrée qu'à la sortie.

La colonne nº 1 du tableau nº 5 (page 270) donne année par année les recettes produites par l'application de ces taxes.

Ainsi que le montre ce tableau (2e colonne), l'État est venu en aide à la Junta par une subvention annuelle, faible d'ailleurs, puisqu'elle n'est généralement que de 100 000 pesetas par an.

Ces recettes ne paraissaient pas devoir suffire; aussi dès l'origine en 1880 la Junta obtenait du gouvernement l'autorisation de conclure un emprunt hypothécaire de 4 000 000 pesetas avec droit d'opérer l'émission progressivement au fur et à mesure des besoins.

Le type adopté fut celui de l'obligation de 500 pesetas, valeur nominale, avec intérêts à 5 0/0 l'an.

Le développement si rapide des exportations de minerais permit de n'opérer que très lentement cette émission; on eut recours

chaque fois à la mise en adjudication sur la base d'un minimum fixé.

A la première émission, en juillet 1881, l'empressement fut si grand qu'au lieu des 2 000 titres offerts au prix minima de 95 0/0, il en fut souscrit plus de 8 000.

Le taux moyen obtenu fut de 97,03.

Le tableau ci-contre qui résume les résultats obtenus montre la vogue s'accroître encore en 1882 où le taux moyen d'émission atteignit 97,55 0/0.

Mais brusquement, la crise générale agissant, les souscripteurs ne répondirent plus aux appels et il fallut progressivement descendre jusqu'à 90 0/0 pour placer le solde des obligations.

Quoi qu'il en soit, le taux moyen d'émission de ce premier emprunt est de 94 0/0 comme l'indique le tableau ci-dessous:

EMPRUNTS DE LA JUNTA DE BILBAO.

DATE DES ÉMISSIONS	NOMBRE D'OBLIGATIONS	MINIMUM FIXÉ	MOYENNE OBTENUE	SOMME RÉALISÉE
1er juillet 81	2.000	95	97.03	1.945.763 40
31 août 82	2.000	97	97.55	
décembre 83 à juin 84	861	96 puis 92	92.90	1.814.590 65
juillet 84 à juin 85	1.463	88.50	90.37	
juillet 85 à juin 86	1.676	88	90.00	
TOTAL du 1er emprunt	8.000 titres		94.00	3.760.354 05
mars 87	1.000	90	90.04	450.194 25

Un second emprunt d'un million de pesetas a été émis partiellement en 1887, à un taux qui ne diffère pas de celui de 1886.

Malgré le brillant développement qu'a pris l'exploitation, on voit que l'appel au crédit a rencontré quelques difficultés même pour de faibles sommes; on peut se demander à quel taux pourra être émis l'emprunt considérable qui sera nécessaire pour permettre l'exécution des grands travaux actuellement en projet.

(b) Dépenses. — Programme des travaux. — Au moment de son entrée en fonctions, la Junta de Obras del Puerto de Bilbao a préparé un long mémoire où a été étudiée très à fond la question de l'amélioration du port.

Les travaux à exécuter ont été classés par ordre d'importance.

1° Amélioration de la barre, de façon à permettre le passage en

toute marée des navires qui se présentent soit à l'entrée, soit à la sortie.

2° Approfondissement et dragage de la partie inférieure du cours de la rivière, de façon à ouvrir aux navires le passage jusqu'aux appontements des chemins de fer miniers, soit sur une longueur d'environ 8 500 *m*.

3° Suppression du coude brusque d'Elorrieta.

4° Approfondissement de la partie supérieure du cours de la rivière pour donner aux navires la possibilité de monter jusqu'à Bilbao, soit sur une longueur d'environ 6 500 *m*.

Une fois ces travaux exécutés, les navires devaient pouvoir entrer et sortir sans difficulté de jour à l'heure de la marée ; mais il peut se faire qu'à un moment donné le nombre des navires réunis dans la rivière soit considérable; on en a vu jusqu'à 200 réunis sur 13 à 14 *km*; la rivière est si étroite que la navigation devient dans ces conditions très dangereuse ; il était donc nécessaire de créer un bassin de refuge. On profita d'un coude de la rivière pour isoler, au moyen d'une digue longitudinale, une vaste superficie qui, draguée, donne actuellement un grand et beau bassin de stationnement (bassin d'Axpe).

Les variations dues à la marée sont telles que l'entrée et la sortie des navires ne peuvent guère se faire en toute sécurité qu'une heure avant ou une heure après la pleine mer; et parfois, dans ce court espace de temps, près de cinquante navires doivent évoluer, ce qui est presque impossible, surtout en hiver, alors que les jours sont courts.

Il y avait donc le plus grand intérêt à faciliter l'entrée et la sortie de nuit comme de jour : c'est à ce besoin que répond l'éclairage électrique de toute la rivière, depuis l'embouchure jusqu'aux derniers appontements à minerais, sur environ 9 *km* de longueur.

Il fallait aussi assurer l'amarrage invariable des navires tout le long du cours de la rivière : de là encore un vaste projet d'établissement de corps-morts et de bornes.

Enfin, il était nécessaire de fournir au commerce d'importation des moyens puissants de déchargement : de là tout un projet de grues hydrauliques.

Tel est, en peu de mots, l'enchaînement des travaux dont nous avons résumé les données financières dans le tableau n° 4 (page 269) et dont nous indiquons la progression dans le tableau n° 5 (page 270), qui donne les grandes lignes de la situation financière, année par année.

Il y avait là un ensemble de travaux dont les devis montaient à environ 13 millions et demi de pesetas. Il est à remarquer que rarement les prévisions ont été dépassées.

Tous les travaux dont nous venons de résumer le programme ont été exécutés presque entièrement de 1878 à 1886, soit en huit années.

Nous allons les passer rapidement en revue et nous renvoyons pour compléter l'étude à la note de M. de Cordemoy sur le port de Bilbao (1) :

Suppression de la barre. — Au moment où la Junta prenait en mains les travaux, en 1878, la profondeur d'eau maxima sur la passe en basse mer équinoxiale, n'était que de 1,14 *m* (2), ce qui donnait 5,65 *m* en haute mer équinoxiale, mais seulement 3,25 *m* en haute mer de morte-eau ; de sorte qu'alors, en dehors des simples caboteurs, aucun navire ne pouvait franchir la passe autrement que dans les 3 ou 4 jours précédant et suivant les pleines mers ordinaires où la profondeur variait de 4,50 *m* à 5 *m*.

Le projet primitif était d'obtenir 3 *m* et le résultat acquis actuellement donne plus de 4 *m* d'eau sur la passe en basse mer équinoxiale, de sorte qu'on a plus de 6 *m* (généralement même 6,50) même aux hautes mers de morte-eau et de 7,50 *m* à 8 *m* en hautes mers ordinaires.

La planche numéro 196, figure 1, donne une idée assez nette de l'embouchure du Nervion.

La rive gauche est dominée par des escarpements; la petite ville de Portugalète occupe l'étroite langue de terre entre ces escarpements et le fleuve.

La rive gauche est une vaste plage de sable ainsi que le nom l'indique : Las Arenas. Poussés par les vents dominants, les sables de las Arenas marchent sans cesse de l'Est à l'Ouest et tendent à rejeter la rivière vers sa rive gauche.

Pendant des siècles, la lutte contre la barre consistait à prolonger simultanément deux môles de part et d'autre de la rivière, en laissant entre eux une distance de 150 à 160 *m*. Mais les sables devançaient sans cesse la tête du môle de la rive droite, la plage de las Arenas s'étendait et la barre se reformait. L'ingénieur anglais sir John Coode proposait également, nous l'avons vu, l'adoption de deux jetées parallèles.

(1) *Ingénieurs civils*, Décembre 1888, page 873.
(2) Les données du port sont les suivantes :
Différence entre la haute et la basse mer équinoxiale. . . . . . . 4,50 *m*
— la haute mer de morte-eau et la basse mer équinoxiale. 2,11 *m*

M. de Churruca, après une étude attentive de toutes les circonstances locales, comprit qu'il fallait renoncer à agir petit à petit; il proposa de prolonger immédiatement de 800 *m* le môle de la rive gauche, Portugalète, pour aller chercher les fonds de 6,50 et 7 *m* en basse mer équinoxiale et de renoncer à tout travail sur la rive droite. Le courant du Nervion, guidé par cette jetée, empêche les sables amenés par les courants parallèles à la côte de se déposer, et au contraire creuse un chenal qui est arrivé rapidement en tous les points à au moins 4,25 *m* de profondeur sur 80 *m* de largeur en basse mer équinoxiale.

La série des rapports annuels de la Junta nous montre, année après année, la barre s'éloigner au fur et à mesure de l'avancement de la jetée; mais un fait qui apparait dans les plans annexés au dernier rapport nous semble mériter une certaine attention : la barre a disparu actuellement, mais les fonds tendent à se relever au large de la tête du môle. Il semble déjà y avoir eu un relèvement de plus de 1 *m*.

Des sondages répétés montreront si un équilibre tendra à s'établir ou si, comme on peut le craindre, il ne va pas se reformer une barre nouvelle au large de la jetée.

Quoi qu'il en soit, l'entrée du port est libre actuellement, et si quelque danger devait la menacer, un prolongement nouveau du môle sur 150 ou 200 *m* allant chercher les fonds de 8 et 9 *m*, assurerait un long avenir; en effet, la surface de plage sablonneuse qui alimente la barre a une faible étendue; la quantité de sable qui se reforme annuellement est faible. Le travail de reconstitution d'une barre par des fonds de 6 et 7 *m* demandera donc de longues années.

D'ailleurs, les nouveaux projets de création d'un avant-port modifieront profondément la situation et donneront, sans doute, une stabilité définitive aux résultats acquis.

Le soubassement est formé de blocs naturels d'au moins 1 000 *kg* extraits de carrières situées en amont de Bilbao, sur la rivière. Ce sont des roches éruptives récentes, apparues dans l'époque tertiaire, qui se comportent assez bien à la mer, mais ont l'inconvénient de ne pas être obtenues en blocs bien gros. Ces enrochements ne dépassent pas le niveau des basses mers équinoxiales, et au-dessus s'élève une maçonnerie en béton de ciment, qui sur 600 *m* de longueur se termine au niveau des hautes mers équinoxiales par une plate-forme de 10 *m* de large; au-dessus s'élève, à 6 *m* de hauteur, une passerelle formée par une ossature de fer

et fonte solidement encastrée dans la maçonnerie.

La partie extrême de la jetée sur **200** *m* de longueur est entièrement en maçonnerie. Elle est formée de blocs artificiels de 5,76 m^3 fabriqués à terre avec ciment de Portland. Le talus extérieur qui est à la pente de 5/1 est protégé par des blocs artificiels de **30** *t* (13 1/2 m^3) (1).

Jusqu'ici les travaux semblent avoir bien résisté aux plus gros temps. Il est à remarquer que les blocs employés sont deux fois plus gros que ceux adoptés à Barcelone.

La construction du môle et les dragages exécutés en rivière facilitent l'accès des appontements où se terminent les chemins de fer venant à Somorrostro.

Mais des gisements de minerais, moins importants, il est vrai, existent en amont; et la ville de Bilbao tenait à voir les navires entrant en charge remonter jusqu'à ses quais. Un angle presque droit de la rivière (Vuelta de Elorrieta), fermait le passage à tous les grands navires, et des hauts fonds gênaient aussi la navigation.

A la place du coude d'Elorrieta, existe maintenant une belle courbe régulière de **500** *m* de rayon, et le lit du fleuve a une largeur uniforme de **100** *m*.

Plus loin, les hauts fonds ont été dragués et les navires de **2 000** *t* montent en charge jusqu'à la ville et accostent aux quais qui ont été construits et munis de grues diverses.

Pourvue, comme nous l'avons déjà dit, d'un bassin de stationnement emprunté à l'ancien coude de Axpe, d'un éclairage électrique complet, la rivière répond à tous les besoins actuels. Mais la rade est dangereuse. Les navires n'y peuvent séjourner par mauvais temps; et sur cette longue côte septentrionale de l'Espagne, il n'existe presque aucun abri pour les navires.

Bilbao vise à devenir le grand port de l'Espagne sur l'Atlantique, et c'est à ce désir que répond le projet dont la première partie, comportant une dépense de plus de **20** millions de pesetas, vient d'être adjugé, en octobre dernier, à une Société française. Il s'agit, au moyen de deux jetées qui vont se prolonger jusque dans les fonds de **15** et **16** *m*, de créer un vaste avant-port de plus de **300** hectares où les plus grands navires de guerre, comme les grands steamers transatlantiques, trouveront en tous temps un abri assuré.

(1) Voir Bulletin de Décembre 1888, planche 193.

Comme nous le verrons plus loin, ce travail se rattache à tout un ensemble de projets qui tendent à faire de Bilbao le grand centre industriel et commercial de l'Espagne occidentale, la rivale de Barcelone. C'est déjà un des ports les plus actifs du monde, puisque son tonnage total, tant à l'entrée qu'à la sortie, a atteint dans l'exercice 1886-1887 environ 4 400 000 *t* de matières chargées ou déchargées.

Le gisement minier de Bilbao.

C'est la richesse incomparable du gîte minier de Somorrostro qui a motivé tous ces travaux d'amélioration du Nervion, et fait de cette modeste rivière l'une des plus fréquentées par les navires de tous pays.

L'étude de ce gîte était le but de l'excursion dont nous avons à rendre compte.

Vers le méridien de Pampelune-Saint-Jean-de-Luz, les Pyrénées s'abaissent et se continuent par une chaîne moins hardie mais large, qui occupe tout le long du golfe de Biscaye une épaisseur de 60 à 80 *km*.

Cette région montagneuse, essentiellement formée de calcaire crétacé, soulevé et percé par de nombreux pointements de roches éruptives récentes, ophites, trachites, etc., est partout plus ou moins minéralisée. C'est le fer qui prédomine.

L'absence de moyens de communication, au milieu d'un pays profondément accidenté, est encore un obstacle absolu à la mise en exploitation de bien des gisements explorés, au moins superficiellement, depuis de longues années. Le plus remarquable de tous ces gîtes s'est, au contraire, trouvé situé à moins de 15 kilomètres de la mer, à 3 ou 4 kilomètres d'une rivière navigable, c'est ce gîte du *Somorrostro* qui a été pendant un temps regardé comme inépuisable, auquel on a attribué, encore en 1877, une richesse de plus de 160 millions de tonnes; mais qui, actuellement, ne laisse plus malheureusement les mêmes illusions.

Tel qu'il a été et qu'il est encore, il n'en est pas moins, malgré tout, le gîte de minerais riches, qui a donné, dans un espace de dix ans, la plus grande production qui ait été réalisée nulle part.

Qualités diverses des minerais. — Le minerai de fer se présente sous trois aspects bien distincts; il y a certainement des qualités intermédiaires, mais cependant, malgré ces variétés, les trois types

sont faciles à distinguer, et sont la base même de toutes les transactions.

Le *Campanil* est essentiellement un peroxyde de fer anhydre à gangue calcaire. Il est en roche, à poussière d'un rouge vif; sa texture est compacte, mais souvent cristalline. De nombreux fragments présentent des géodes de rhomboèdres, transformés au peroxyde de fer.

Les nombreuses analyses qui ont été publiées permettent de définir le campanil comme un minerai contenant :

6 à 9 0/0 de silice;

3 à 5 0/0 de chaux et de magnésie,

c'est-à-dire ayant une gangue fusible par elle-même.

La teneur en fer métallique varie de 53 à 54 0/0.

La *vena* est un peroxyde de fer anhydre, compacte mais friable, avec un peu de gangue argileuse, ce qui lui donne généralement l'apparence terreuse. Sec, ce minerai est très riche et rend souvent jusqu'à 64 et même 65 0/0 de fer métallique. Mais, pratiquement, il dépasse rarement 58 à 60 0/0 à cause de sa forte teneur en eau.

Le peu de gangue qui existe forme un silico-aluminate facilement fusible sans additions étrangères.

Le *rubio* est un peroxyde de fer hydraté à gangue siliceuse. Il est souvent riche, plus riche même que le campanil. Mais la gangue n'étant que siliceuse, il doit nécessairement être mélangé de castine pour être utilisé au haut fourneau; le métallurgiste doit donc le considérer à cause de ce mélange forcé de castine, comme un minerai moins riche.

Tandis que le campanil et la vena sont des minerais à type bien défini, que leur nom seul suffit à caractériser, le rubio est au contraire un minerai très variable d'un point à un autre. Il y a toutes les variétés intermédiaires, depuis le rubio riche à 54 et 56 0/0 de fer et 8 à 10 0/0 de silice jusqu'au rubio ordinaire à 48 0/0 de fer et 15 à 18 0/0 de silice, et même jusqu'à de vrais grés ferrugineux.

Les anciens avaient bien su distinguer ces qualités de minerais.

Tant que la métallurgie du fer était représentée seulement par le foyer catalan, le four Chenot et ses variantes, l'unique minerai exploité était la vena, que les mineurs allaient péniblement chercher souterrainement par galeries tortueuses et accidentées.

Pour les hauts fourneaux au bois, le campanil est devenu bien vite le minerai par excellence; en roche, poreux et facilement perméable aux gaz, ce minerai ne demandait l'emploi d'aucun mé-

lange et donnait des fontes parfaitement régulières même dans les plus petits fourneaux.

Il a fallu l'emploi de l'air chaud, l'adoption des grands fourneaux au coke à grande capacité et stationnement relativement prolongé des matières pour que le rubio et surtout le rubio ordinaire pût être employé.

Et maintenant que les minerais riches deviennent rares, le rubio à 15 et 18 0/0 de silice forme l'élément principal du dosage des fourneaux de la vallée du Nervion.

Le commerce ne connaît encore que ces trois qualités de minerais, mais il en est un quatrième qui prendra avant peu une grande importance, c'est le *carbonate de fer*.

Ce minerai se trouve en masses épaisses sur certains points; il est à texture cristalline; sa gangue, qui ne dépasse pas 8 à 9 0/0, est formée par parties sensiblement égales de chaux, de magnésie et de silice.

Ne rendant que 40 à 42 0/0 à l'état cru, il est amené facilement à la teneur de 54 à 56 0/0 par grillage.

Jusqu'ici ce minerai est inexploité, à peine reconnu surtout par les Espagnols qui en méconnaissent l'importance. Et pourtant n'est-ce pas ce même minerai qui forme à lui seul toute la masse de l'Erzberg de Styrie et de l'Erzberg de Carinthie et dont l'exploitation est la base de toute la métallurgie des Alpes autrichiennes?

Ce minerai est bien un peu pyriteux; mais c'est là un défaut de faible importance. Ils sont au moins aussi pyriteux, les minerais qui servent à la fabrication des aciers si renommés de Suède et de Styrie.

Il suffit d'un grillage conduit avec soin et d'un dosage calcaire au fourneau pour faire disparaître cet élément nuisible (1).

Aperçu géologique.—Quelle est la situation relative de ces quatre espèces de minerais? Quel est leur mode de gisement et quelle est leur origine ? Ce sont là des questions auxquelles notre rapide passage dans le pays ne nous permet d'apporter aucune solution personnelle et sur lesquelles les opinions sont si divergentes qu'il est même difficile de se former à l'étude des nombreux documents qui ont été publiés une opinion bien arrêtée.

A de bien rares exceptions, l'exploitation n'a été conduite que par des industriels pressés d'enlever au plus vite le minerai le plus riche tel qu'il se présentait ; le sens positif de l'Anglais a pré-

(1) *Voir* Tableau n° 8, page 273, quelques analyses des divers minerais de Bilbao.

dominé ; et des observations méthodiques ont été rares; plus rares encore ont été les recherches et les reconnaissances dirigées dans un esprit scientifique. Aussi la partie la plus belle du gîte, toute la masse de campanil, est enlevée, et on est encore à se demander s'il n'existe pas en profondeur, au delà d'une faille, le prolongement de cette belle masse minérale. La disette obligera, avant peu, à pousser des reconnaissances.

Si sur certains points la lumière commence à se faire, c'est à un ingénieur français encore jeune, M. Léon Benoist, Ingénieur en chef de la Compagnie franco-belge, qu'on le doit : et nous comptons qu'avant peu, notre collègue M. Demanest et lui nous présenteront un travail qui, basé sur des observations poursuivies patiemment pendant plus de dix ans, fixera définitivement les idées sur la formation du gîte.

Quant à nous, nous ne donnerons qu'un aperçu très sommaire, basé sur l'étude comparative de ce gîte et d'autres que nous avons pu visiter antérieurement en France, en Algérie ou en Autriche.

Terrains encaissants. — Les terrains sédimentaires qui apparaissent dans toute la Biscaye appartiennent tous à la période crétacée. Des doutes ont persisté assez longtemps à ce sujet par suite de la rareté des fossiles; et, en ne se basant que sur l'aspect des roches, on avait cru avoir affaire à du trias et même, disait-on, à des grès de l'époque houillère.

Les études de M. R. A. de Yarza, en 1877, et la carte géologique de la région qu'il fit paraître peu après, ont, sinon résolu toutes les questions, du moins fixé les grands traits de la stratigraphie.

Le Sénonien (crétacé supérieur), occupe une zone assez restreinte du Sud-Est de la province ; tandis que la plus grande étendue est occupée par le Cénomanien (partie inférieure du crétacé supérieur).

C'est ce terrain qui forme la masse du Somorrostro ; on y observe trois séries de couches d'aspect bien différent :

1° A la base, des couches sableuses (areniscas), un peu micacées, à grain fin, à teintes bleuâtres dans les cassures récentes ;

2° Au-dessus, mais n'existant pas partout, des calcaires compacts, bleuâtres, recoupés de veines de calcaire blanc cristallisé. Ce calcaire est assez riche en fossiles ; on y observe des Requienia, des Terebratules et des Hippurites qui sont caractéristiques

de l'âge. Il semble ne subsister que des témoins isolés de cette formation, principalement sur les sommets.

3° Au-dessus encore, des calcaires argileux passant aux argiles marneuses par lits minces, de nature très variable. Ce sont les couches qui couvrent par place les flancs du Somorrostro et qu'on retrouve formant les escarpements de Portugalète au bord de la mer.

Ces trois séries de couches sont en stratification concordante ; elles sont sensiblement dirigées N.-O. S.-E. magnétique, c'est-à-dire, parallèlement à la chaine des Pyrénées ; et la zone minéralisée de Biscaye se développe dans cette même direction.

Mode de gisement des minerais. — Les trois espèces de minerais que nous avons décrits plus haut, semblent appartenir à deux époques assez différentes ; la qualité du minerai déposé à une même époque s'est modifiée en raison des circonstances qui ont accompagné le dépôt.

1° *Campanil.* — Le plus ancien en date est le *Campanil.* C'est un minerai interstratifié au milieu du calcaire compact. Il appartient donc aux terrains secondaires supérieurs. Il semble avoir formé à l'origine une grande lentille. Le minerai suit les inflexions d'un mur calcaire horizontal ou peu incliné, et est recouvert, sinon partout, du moins sur une grande partie de sa surface par ce même calcaire.

Certaines exploitations, Nuestra Senora de Begona, par exemple, ont trouvé la masse de campanil divisée en deux couches distinctes par un vaste noyau calcaire.

Ce calcaire, soit du toit, soit du mur, n'est pas altéré au contact du minerai. Il n'y a pas des qualités intermédiaires. Il y a passage brusque du calcaire au minerai et *vice versa.* Il y a donc eu là formation du dépôt au moyen de sources ferrugineuses-calcaires qui n'attaquaient pas le calcaire ; et ce dépôt a atteint par place une épaisseur de 60 *m.*

La lentille a été recoupée par plusieurs failles N.-O S.-E., l'une en particulier, celle de San Miguel, qui plonge au Nord, met à nu une falaise de 60 *m* de minerai, et semble avoir eu pour résultat de reporter en profondeur la partie Nord de la lentille du campanil. Quelques sondages donnent à penser, en effet, qu'une masse de campanil existe vers 25 *m* de profondeur au nord de la faille. Mais les travaux de reconnaissance n'ont pas été poursuivis ; car les frais d'exploitation souterraine seront de suite bien plus élevés.

Il y a là un problème dont la solution s'imposera à bref délai.

Les nombreux cristaux rhomboédriques de carbonate de chaux transformés en peroxyde de fer donnent à penser que le gîte a d'abord été du carbonate de fer ; mais l'absence de parties non altérées prouve que la transformation a dû se produire au moment même du dépôt et non par action ultérieure.

2° *Rubio.* — Le *Rubio* présente un tout autre caractère ; c'est un minerai superficiel. Il s'est épanché sur tout le pays ; et sa composition dépend dans une certaine mesure au moins des couches sur lesquelles il repose, ou au voisinage desquelles il se trouve. Les sources ferrugineuses ne sont pas de même composition que celles qui ont déposé le campanil ; car elles ont attaqué fortement les roches calcaires ou argilo-calcaires.

Si la venue ferrugineuse s'est épanchée sur du calcaire compact, elle l'a corrodé profondément ; et le minerai qui s'est déposé, a une grande analogie avec la *vena* ; il n'est que peu siliceux et a l'aspect terreux. Une fois le minerai enlevé par l'exploitant, il reste une surface hérissée de pointements bizarres ; on croirait les séracs d'un glacier.

Ces parties ont une frappante analogie avec certaines parties superficielles du gîte de la Tafna, en Algérie.

Si la venue ferrugineuse s'est épanchée sur les couches sableuses qui forment la masse du Somorrostro, elle a réagi sur ces couches ; il s'est déposé un minerai ayant l'aspect de rognons, contenant plus ou moins de sable siliceux ou d'argile. Par places, l'argile s'est isolé et forme des veines dans la masse. Ces réactions mutuelles expliquent la variabilité de composition du *Rubio*, soit comme fer, soit comme silice.

Au milieu de fragments de *Rubio*, M. Benoîst a trouvé des fossiles tertiaires.

L'époque récente de formation de cette variété est donc nettement établie. Le rubio est donc un minerai tertiaire.

Cette formation essentiellement superficielle du *Rubio*, qui n'était pas soupçonnée à l'origine, a causé d'immenses déceptions.

C'est l'idée de l'existence de masses de rubio qui avait fait dire que la richesse du gîte serait inépuisable ; c'est cette même idée qui avait conduit une Société anglaise, Galdamès Iron Ore Cy, à dépenser plus de 17 millions pour ouvrir un chemin de fer pour desservir une région où il ne s'est trouvé finalement que des placages de minerai de fer.

Comment peut-on expliquer la formation de ces vastes placages qui recouvrent les montagnes? Comment expliquer ces dépôts qui ont dû se produire alors que le relief du sol était déjà à peu près parvenu à son état actuel?

Faut-il admettre l'explication de M. Stephan Czyszkowski qui suppose qu'il y a eu dépôt horizontal, puis affouillement des couches arénacées souterraines, et effondrement des couches ferrugineuses qui sont venues se plaquer à flanc des vallées ainsi formées par érosion?

Ne faudrait-il pas plutôt admettre qu'il y a eu là un phénomène de même genre que celui de Hammam Meskoutine près de Guelma, écoulement d'une source ferrugineuse qui, s'altérant à l'air, y déposait le fer à l'état d'hydrate en mélange avec les débris des couches traversées par les sources?

Toujours est-il que si, sur la plupart des points, le rubio ne forme qu'un manteau trompeur à la surface de couches crétacées; sur d'autres points, principalement dans les concessions Concha, sous le fer hydroxidé existe une puissante masse de carbonate de fer blanc très pur qui forme pour l'avenir une réserve dont les travaux actuels ne permettent pas de cuber, mais seulement d'entrevoir l'importance.

3° *Vena.* — Les sources ferrugineuses qui ont déposé sur certains points du rubio siliceux, sur d'autres des rubio avenado, et qui ont formé par places sous ce manteau oxydé de puissantes masses carbonatées, ces sources se sont aussi fait jour au milieu du campanil.

Elles l'ont traversé et, en le traversant, l'ont modifié physiquement et chimiquement.

Ce qui restait de calcaire a été dissous, le minerai s'est donc trouvé enrichi, et de compact il est devenu friable, terreux, tout en conservant souvent une texture cristalline.

C'est ainsi que s'est formée la *vena* proprement dite ou *vena dulce* qui n'est qu'une transformation du campanil.

C'est cette *vena* que les anciens poursuivaient péniblement en suivant tous les zigzags produits au milieu du campanil par les sources ferrugineuses qui circulaient au travers des failles.

Cette même transformation d'une couche ferrugineuse calcaire pauvre en une couche argileuse riche, nous avons pu l'étudier quand, il y a quelques années, nous dirigions l'exploitation des mines de Thostes et Beauregard dans la Côte-d'Or.

Origine des divers minerais.

En résumé, il nous semble qu'il y a eu une première formation ferrugineuse très puissante mais très limitée comme étendue; c'est celle qui a donné la lentille de campanil.

A la suite de soulèvements qui ont profondément modifié l'allure des couches, est venue une seconde période d'écoulement des sources ferrugineuses :

Circulant au travers des failles du campanil, ces sources ont transformé par colonnes le campanil et ont produit la *vena dulce*; s'épanchant sur les couches de calcaire compact, elles l'ont corrodé profondément et ont déposé un minerai argileux se rapprochant beaucoup de la *vena*.

Traversant des couches argilo-sableuses, elles en ont dissous tous les éléments calcaires et magnésiens; et il est resté sur place une croûte de rognons ferrugineux agglomérés, plus ou moins siliceux ou argileux suivant les circonstances.

Quand le dépôt a pu se produire à l'abri de l'air, le carbonate a cristallisé purement et simplement sans agir sur les roches encaissantes et par suite sans se mélanger avec des impuretés.

Au milieu de ces rognons silico-ferrugineux a par places cristallisé du carbonate de fer qui s'est ultérieurement décomposé; certains fragments de ce carbonate de fer ont pu aussi être détachés de la masse, et ils se sont progressivement altérés; mais ces parties peroxydées sont pures, sans interposition de silice; ces fragments de rubio sont donc de formation récente, mais ne sont pas des témoins du mode primitif de production.

Cette seconde formation a dû se prolonger pendant une longue période; le rubio primitivement déposé a pu, lui aussi, être fissuré par les mouvements qui ont accompagné la réouverture de certaines failles, et au milieu de ce rubio a pu venir se déposer, par décomposition des sources carbonatées, des filons de *vena* proprement dite. La *vena* et le rubio auraient donc une commune origine, appartiendraient tous deux à l'époque tertiaire; et la nature du dépôt tiendrait beaucoup plus à la composition des masses traversées ou sous-jacentes qu'à une différence dans la composition des sources.

Il semble cependant que certaines des sources qui ont produit le rubio ont été spécialement siliceuses; et on constate dans certains fragments de rubio des quartz bipyramidés avec occlusions.

aqueuses qui sont la preuve de sources silico-ferrugineuses geysériennes.

Historique de l'exploitation. — Nous l'avons déjà dit : c'est la *vena* qui fut pendant tout le moyen âge et jusqu'au milieu même de ce siècle le seul minerai exploité ; seul, il était considéré comme apte à réaliser la production du fer doux par simple réduction sans carburation intermédiaire.

Les étrangers qui connaissaient déjà ce beau gite ne pouvaient qu'en signaler avec envie l'importance puisque des lois sévères prohibaient jusqu'en 1849 toute exportation de minerai. L'absence de connaissances techniques laissait l'industrie métallurgique locale dans son état rudimentaire, de sorte que le premier petit haut fourneau au charbon de bois n'a été allumé, croyons-nous, dans le pays qu'en 1848 ; et il faut attendre jusqu'en 1858 pour voir construire et allumer le premier haut fourneau au coke.

Les étrangers ne tardèrent cependant pas à deviner les résultats qu'on pouvait tirer du campanil si méprisé jusqu'alors.

De 1850 à 1855, les exportations montèrent péniblement à 10 000 *t* par an ; en 1860, elles atteignaient 70 000 *t*. La découverte de Bessemer, donnait une nouvelle importance aux minerais riches et purs, et les faisait rechercher partout ; aussi, en 1870, la production atteignait-t-elle déjà 250 000 *t*.

L'intense reprise des affaires qui suivit la guerre de 1870, poussa tous les pays à rechercher les minerais riches ; et les étrangers, principalement les Anglais, se précipitèrent sur Bilbao, dont tout le territoire fut en quelques mois morcelé en milliers de concessions.

Les chemins de fer étaient en construction ; l'amélioration de la rivière était à l'étude ; l'impulsion était donnée de tous côtés, quand subitement éclata la guerre carliste.

Don Carlos fit de Bilbao son quartier général ; tous les travaux cessèrent, et, pendant deux ans, il ne fut plus possible d'exporter de minerai.

Mais les besoins devenaient de plus en plus urgents ; et, à peine la rivière ouverte de nouveau à la navigation, les travaux reprenaient avec une intensité inconnue jusqu'alors.

En 10 mois, de la fin de février au 31 décembre 1876, la production atteignait 432 000 *t* ; et, l'année suivante, elle dépassait déjà un million de tonnes.

La courbe ci-jointe montre toute l'histoire du développement de cette exploitation. (Pl. 196, fig. 3.)

En 1887, l'exploitation a dépassé 4 millions et demi de tonnes.

Il a été certainement extrait et utilisé jusqu'ici plus de 40 millions de tonnes de minerais ; nous disons avec intention « et utilisé » ; car, s'il était possible d'évaluer ce qui a été extrait et jeté aux remblais, ou enterré sous ces déblais, le chiffre serait bien plus élevé encore.

On a réalisé, il est certain, d'immenses richesses par l'exploitation de ce gite. Mais en a-t-on tiré tout le parti qu'on pouvait en espérer ? Nous ne le croyons pas ; car le gaspillage auquel a été soumis ce gite, a été effrayant.

Pour s'expliquer ce fait, il est nécessaire de se reporter à la loi des Mines espagnole et de se rendre compte des conditions dans lesquelles ce gîte a été mis en exploitation.

Législation Minière. — D'après la loi de 1825, l'unité de surface qui pouvait être concédée à une personne, ou *pertenencia*, était un rectangle de 200 varas (169,60 *m*) de long et 100 varas (84,80 *m*) de large. Ce qui représente une superficie de 1,438 *ha.*

En principe, une personne ne pouvait demander et obtenir qu'une seule pertenencia ; mais une fois les travaux commencés, la loi n'interdisait pas le groupement de plusieurs pertenencias entre les mêmes mains.

D'après un état dressé en 1865, qui nous a été communiqué, sur la montagne de Triano, qui est le point central du gîte de Somorrostro, celui où existe le campanil, il y avait à cette date, 56 concessions de mines de fer, dont 26 n'avaient que la surface de 200 sur 100 varas, soit 1 438 *ha.*

Vingt autres concessions étaient formées chacune par le groupement de trois pertenencias, et avaient donc une surface d'un peu plus de 4 *ha* ; sept ou huit concessions avaient une surface de 15 *ha*, et une seule, celle de Carmen, avait une surface de 120 *ha*.

Entre toutes ces petites concessions rectangulaires orientées absolument au hasard, souvent limitrophes mais non contiguës, se trouvaient une série de bandes ou de parcelles triangulaires qui, n'ayant pas l'étendue ou la forme voulue pour constituer une pertenencia, restaient non concessibles. (Voir pl. 196, fig. 1 et 2.)

Ces lopins de terre, ou *demasías*, la loi n'en fixait pas très nettement le mode d'attribution. Elle spécifiait qu'ils seraient partagés entre les concessionnaires voisins. De là, des procès, et le plus

souvent une indivision qui nécessitait une exploitation en commun par des propriétaires habituellement en guerre les uns avec les autres.

Ce bref exposé donne à penser ce que devint ce promontoire du Triano quand chacun de ces concessionnaires voulut en même temps exploiter ; c'est-à-dire creuser et placer ses déblais, puis sortir son minerai de sa parcelle nécessairement absolument enclavée.

Quand éclata la fièvre minière à Bilbao vers 1870, venait d'être promulgué le décret-bases du 29 décembre 1868 qui tient lieu de loi des mines, jusqu'à rédaction d'une loi proprement dite qu'on attend encore actuellement.

Cette loi fixe la concession minière à un rectangle de 100 *m.* de côté ou un hectare de superficie : c'est la pertenencia nouvelle. Mais cette même loi spécifie qu'une *mine* n'est constituée que par la concession simultanée de quatre pertenencias, qui peuvent d'ailleurs être placées l'une par rapport à l'autre d'une façon quelconque à condition d'être contiguës par un de leurs côtés.

Une même personne peut obtenir autant de concessions qu'elle en demande, groupées quatre par quatre comme il vient d'être dit ; mais ces divers groupes ont une position quelconque les uns par rapport aux autres.

Les mines ont donc d'après la nouvelle loi au minimum 4 *ha* au lieu de 1 *ha* et demi ; mais elles n'en sont pas moins encore minuscules, et entre chaque mine se trouvent des *demasias* dont la loi ne règle pas l'attribution avec plus de précision que l'ancienne.

Toutes les parties nouvelles du gîte de Bilbao, concédées à partir de 1869, sont donc encore morcelées à l'infini.

La loi minière espagnole a été souvent vantée et proposée en exemple au législateur français. Il suffira de passer quelques jours à parcourir les flancs du Triano et des collines voisines, et de voir ce gaspillage des richesses, cette exagération de dépenses pour création de voies de communication ; et on se persuadera facilement que si la loi espagnole a quelques avantages, elle a, à côté de cela, des défauts qui doivent la faire écarter sans hésitation.

C'est par suite de la législation espagnole, qu'il n'a pu être adopté aucun plan rationnel pour exploiter la plus grande partie du gîte ; et qu'il a fallu dépenser des millions à créer des voies ferrées de tous genres qui passent les unes au-dessus des autres, qui se croisent en tous sens, et finalement aboutissent toutes presque au même point.

Et si nous trouvons quelques exploitations qui paraissent un peu rationnelles, c'est qu'une concentration des mines péniblement réalisée a permis d'atténuer les défauts résultant de la loi.

Il faut voir en détail la position des concessions appartenant à l'une de ces Compagnies, à la Franco-belge, par exemple, pour comprendre ce qu'il a fallu d'études et d'ingéniosité pour arriver à tirer parti des déclivités du terrain, et n'avoir que peu de transports à contre-pente.

Nous aurons d'ailleurs l'occasion de reparler de cette question quand nous étudierons les moyens de transports.

Méthode d'exploitation.

Le mode d'exploitation est la conséquence simultanée de deux faits : la multiplicité des concessions et l'exploitation par des amodiataires.

Nous l'avons déjà dit : par suite de la loi minière, le gîte a été morcelé à l'infini, et la plupart des parcelles ont été attribuées à des personnes qui n'avaient ni connaissances techniques, ni capitaux pour organiser des chantiers, mais qui, par contre, n'avaient qu'un désir : tirer le plus vite possible un revenu considérable de cette richesse nouvelle.

Beaucoup amodièrent donc leur mine à quelque entrepreneur qui s'engageait à payer une certaine somme par tonne de minerai vendu. Aucune condition n'était posée pour la surveillance des travaux.

Tous ces entrepreneurs n'eurent qu'une idée, tirer le plus économiquement possible le minerai qui se vendait le plus cher ; c'était à qui promettrait de livrer à 54, 55, 56 et quelquefois 58 0/0 de teneur en fer pour attirer les acheteurs.

Tout ce qui ne répondait pas à ces conditions, tout ce qui était trop menu, car on s'engageait encore à ne livrer le campanil qu'en roche, était jeté aux remblais ; et c'est ainsi qu'a été gaspillée la plus belle partie du massif de campanil, à la place duquel il ne reste plus maintenant qu'un désert chaotique.

Pour extraire ces parties riches, dans ces petites concessions de 1 à 3 hectares, il n'y avait aucune méthode. On s'enfonçait en terre et souvent un éboulement enterrait les travailleurs et recouvrait le front de taille. Pour sortir, quand cela était possible, on ménageait une rampe d'accès que remontaient péniblement des couples de bœufs tirant de vieux chars antiques à essieux en

bois et roues pleines en bois; mais nous avons encore vu l'an dernier emporter des minerais à dos d'hommes et de femmes se suivant en longues files, le long d'un sentier au milieu des déblais.

Ces déblais jetés de droite et de gauche devaient souvent être remaniés plusieurs fois.

Tel est l'état de l'exploitation dans toute la masse centrale du campanil, où le fractionnement résultant de la loi minière a eu son plein effet.

Sur toutes les collines entourant celle du Triano, le groupement des concessions a été partiellement réalisé, soit par rachat ou amodiation à long terme entre les mains de grandes Compagnies, soit par obtention simultanée de nombreuses mines différentes juxtaposées.

MM. Ybarra en particulier s'étaient assuré un grand nombre de concessions; et c'est grâce à leur initiative et à leur active intervention qu'ont été constituées les principales Compagnies d'exploitation dont ils restent d'ailleurs participants.

Ces principales Compagnies sont :

Orconera Iron Ore Company limited,

Formée par l'association de :

Dowlais Iron Company, de Dowlais;

Consett Iron Company, de Blakhill;

F. Krupp et Cie, d'Essen;

Ybarra frères, de Bilbao.

La *Compagnie Franco-Belge des Mines de Somorrostro*, formée par l'association de :

La Société Cockerill, de Seraing;

La Société des Forges de Denain et Anzin;

La Société des Forges de Montataire;

Ybarra frères, de Bilbao;

et une série d'autres Compagnies presque toutes anglaises de capitaux et de constitution.

Ces deux grandes Compagnies principalement se sont de suite placées à un tout autre point de vue; elles se sont efforcées de tirer le meilleur parti possible des diverses mines qu'elles avaient groupées, en organisant un transport rationnel des déblais vers des régions aussi éloignées que possible, non ou peu minéralisées, et en créant une série de vastes fronts de taille en gradins desservis par des voies ferrées à traction mécanique. Sur chacun de ces gradins l'exploitation se fait à la main avec emploi de poudre ou de dynamite suivant le degré de dureté de la masse.

Ces mines ne sont donc que de vastes carrières à ciel ouvert : l'abattage ne présente rien de caractéristique. Jusqu'ici, étant donné le prix des minerais, on a dû arrêter les chantiers pour lesquels le rapport du stérile au minerai marchand dépassait 3. Mais avec la hausse des minerais on pourra augmenter l'épaisseur des découverts.

Toute la science de l'ingénieur a consisté à tirer le meilleur parti possible des moyens de transport.

Moyens de transport. — C'est la variété, c'est aussi la multiplicité des moyens de transport concentrés sur une si faible surface de territoire qui fait le principal intérêt d'une course au Triano.

Quatre voies ferrées arrivent à la rivière en des points qui ne sont pas distants de 2 000 *m* et deux kilomètres plus loin en aval, on trouve une cinquième voie ferrée.

Quatre de ces lignes s'engagent à des niveaux différents dans une même vallée étroite et, s'entrecroisant, vont attaquer le Triano, soit de front, soit de derrière.

Une vraie toile d'araignée recouvre la montagne ; ce sont les câbles aériens, Hogdson, Bleichert ou autres, les chaînes flottantes, les plans inclinés qui forment les rayons de cette vaste toile, et, pour relier ces rayons et tresser les mailles courent les voies ferrées de niveau à traction mécanique ou par chevaux, ou encore des câbles aériens secondaires.

La description détaillée de tous ces moyens de transport nous entrainerait trop loin; d'ailleurs elle a été donnée dès 1882 par M. William Gill, directeur de la Compagnie d'Orconera au congrès annuel de l'Iron and Steel Institute (1).

Ce travail a été repris et complété par un ingénieur italien, M. Gandolfi, qui a mis au courant les tableaux dressés par M. Gill et a fait précéder cette traduction d'un résumé des notes géologiques de M. R. de Yarza (2).

Ce même travail, légèrement modifié et abrégé, est en cours de publication dans la *Revue Universelle de Liège*, avec une intéressante préface de M. Habets (3).

Nous nous contenterons donc de passer rapidement en revue chaque mode de transport et de chercher à nous rendre compte de

(1) Le texte de cette intéressante communication se trouve dans le *Journal of the iron and steel institute*, 1882, n° 1.

(2) Ce travail a été publié dans les numéros 9, 10, 11 et 12 de 1887 de l'*Ingegneria civile*, revue mensuelle paraissant à Turin; et traduit dans la *Revista minera* de Madrid.

(3) *Revue universelle des mines*, t. IV, n°s 1 et 2, octobre et novembre 1888.

sa puissance, du besoin auquel il répond et du motif qui l'a fait adopter.

Transports primitifs. — Pendant longtemps, jusqu'en 1873 et 1874, tout le transport se faisait encore au moyen des chars à bœufs et nous trouvons dans une lettre de notre collègue, M. de Joannis, alors directeur des usines de MM. Ybarra, une description qui peint bien la situation. « Figurez-vous mille à quinze cents » paires de bœufs montant et descendant la montagne par un seul » chemin sur deux longues files non interrompues. Il y a environ » deux mille quatre cents paires de bœufs occupés actuellement au » transport du minerai, seulement aux mines de Somorrostro et » environs. Chaque paire de bœufs transporte près de 2 000 *kg* de » minerai à la fois. »

Il s'agissait alors de réaliser une production de 360 000 *t*, à peine le dixième du tonnage exporté actuellement. Pour continuer à développer la production, il fallait changer de méthode et recourir à des moyens mécaniques pour gagner le fond de la vallée; il le fallait surtout puisque, en s'approfondissant et en accumulant les remblais, les exploitants se bloquaient les uns les autres.

Aucune loi n'assurant à chaque concessionnaire une route de sortie, il ne restait qu'une solution, le transport aérien.

C'est un ingénieur anglais, *Hodgson*, qui le premier introduisit les câbles aériens dans le courant de 1872. Actuellement il existe vingt-trois ou vingt-quatre lignes différentes de câbles de divers systèmes.

Câbles aériens. — 1° *Câble Hodgson.* — Le câble Hodgson répondait parfaitement au besoin tel qu'il se produisait alors : il s'agissait de créer une voie de sortie à de petites exploitations dont la production ne devait jamais dépasser 150 à 200 *t* par jour.

C'est un *câble unique continu, à la fois porteur et moteur*; ce câble passe aux deux extrémités de sa course sur deux poulies horizontales de grand diamètre (3 *m* à 3,50 *m*). L'une de ces poulies peut se déplacer de façon à assurer en tout temps une tension suffisante du câble. Quant au câble, il est supporté de distance en distance (en moyenne de 40 en 40 *m* ou de 50 en 50 *m*) par des chevalets munis de poulies et maintenu à une distance d'au moins 3 *m* à 3,50 *m* au-dessus du sol. Une machine motrice actionne l'une des poulies extrêmes et donne au câble un mouvement de translation de 4 à 6 *km* à l'heure.

A ce câble on suspend, à des distances aussi régulièrement es-

pacées que possible les unes des autres, de 40 en 40 *m* ou de 50 en 50 *m*, des bennes pesant environ 40 à 60 *kg* et portant 120 *kg* de minerai.

La suspension de la benne est obtenue au moyen d'un patin garni intérieurement de caoutchouc.

La seule adhérence du caoutchouc sur le câble métallique suffit pour assurer l'entraînement non seulement sur un câble horizontal mais même sur des pentes de 22 à 25 et même 27 0/0 par un temps sec.

Mais que le temps devienne humide, ce qui est fréquent à Bilbao, que la pente soit un peu forte, il se produit facilement des glissements et on voit les bennes filer sur le câble et s'amasser au bas des pentes.

Dès qu'un câble Hodgson a des pentes de plus de 12 à 15°, sa marche n'est pas assurée en tout état atmosphérique. C'est l'un de ses grands inconvénients.

D'autre part, le câble étant moteur et par suite astreint à passer sur les poulies extrêmes ne peut être raide : son diamètre est donc limité à 20 ou 22 *mm*, ce qui ne permet pas de supporter des charges de plus de 120 *kg* par benne.

A condition de mettre à chaque changement de direction deux hommes pour assurer le passage régulier des bennes, le câble Hodgson peut facilement s'adapter à un parcours sinueux. C'est donc un transporteur souple, peu coûteux d'installation, mais d'une puissance limitée.

2° *Câble Bleichert.* — Veut-on obtenir une production plus forte? Il faut alors spécialiser le rôle des organes : avoir un *câble porteur fixe rigide* et un *câble moteur souple et léger*.

C'est le but réalisé par le système Bleichert.

Le câble porteur est choisi à 30 et même 40 *mm* de diamètre; il est fortement tendu : ce qui exclut presque complètement la possibilité d'une voie sinueuse. Les deux brins parallèles peuvent être complètement distincts.

Le câble moteur est léger au contraire (16 à 20 *mm* de diamètre) ; la charge n'agissant plus pour produire l'adhérence, il faut un artifice spécial pour rendre la benne solidaire du câble moteur; soit que le câble porte de distance en distance des bagues contre lesquelles vienne buter la fourche de la benne (système Bleichert proprement dit), soit que cette fourche possède un organe qui saisisse et serre le câble, système Bleichert-Otto. Dans le pre-

mier cas, l'espacement des bennes est fixé à l'avance et le débit de la ligne dépend de la vitesse du câble ; dans le second cas, l'espacement des bennes n'est pas fixé, et le débit de la ligne dépend de l'activité du personnel chargeur.

Tandis que le câble Hodgson doit forcément posséder une machine motrice pour la mise en marche en raison de la tendance qu'ont toutes les bennes en cas d'arrêt à glisser lentement vers le point le plus bas de l'arc de la chaînette ; le câble Bleichert peut, au contraire, fonctionner automatiquement si la pente est convenable, et il suffit d'installer à une des extrémités de la course une manivelle à main pour donner un premier ébranlement.

Dans le cas du système Bleichert, la charge des bennes peut être portée à 250 et 300 *kg*. Aussi peut-on arriver à débiter en un jour de 400 à 600 *t* de minerais.

Plus coûteux d'installation première, le câble Bleichert convient donc à des exploitations plus importantes, et à des pentes plus fortes.

Plans inclinés. — Les petits propriétaires, bloqués chez eux, ont presque tous été obligés, comme les Parisiens pendant le siège, de s'échapper au travers de l'air et de recourir aux câbles Hodgson ou Bleichert.

Mais ceux des propriétaires dont les concessions n'étaient pas coupées des voies ferrées par des voisins intraitables et celles des Compagnies qui ont pu réaliser cette indépendance par la jonction de plusieurs concessions limitrophes, ont pu éviter les voies aériennes, et, quand la pente était forte, ils ont eu recours aux plans inclinés. Suivant la pente, l'importance du champ d'exploitation à desservir, etc., chaque propriétaire a adopté un type un peu différent du plan incliné.

Le plus remarquable est certainement celui d'Orconera que les membres de notre Société ont remonté en wagon à leur arrivée sur les lieux, le matin de leur visite.

Il est à deux voies, sur une longueur de 1 097 *m*, et se développe en courbes de 183 et 488 *m* de rayon, de sorte que de la tête du plan on ne voit pas le point d'arrivée.

Chaque train est formé de huit wagons portant chacun 4 500 *kg*.

Le plan débite en moyenne par jour 2 800 *t* et on est arrivé à lui faire produire jusqu'à 3 600 *t* en dix heures.

La différence de niveau des gares extrêmes est de 180 *m*, et les pentes varient de 18 à 21 0/0.

Les deux plans inclinés de la Compagnie Franco-Belge ne sont pas moins remarquables. Ils sont en ligne droite ; la pente du numéro 1 varie de 31 à 36 0/0; la pente du numéro 2 est constante et atteint 49 1/2 0/0.

Entre eux deux ils rachètent une différence de niveau de 239 *m*.

Le numéro 1 est réglé pour débiter 1 500 *t*, et l'autre, pour débiter 1 000 *t*.

Nous ne décrirons pas en détail ces plans inclinés que notre collègue M. Demanest et M. Benoist, l'ingénieur en chef qui a eu le mérite de la construction, se réservent d'étudier dans un travail spécial.

Mais nous signalons cependant les remarquables régulateurs de vitesse qui permettent de marcher avec une vitesse constante sans emploi des freins.

Ce furent d'abord des régulateurs à air qui furent adoptés; mais ces grandes palettes étaient encombrantes ; et maintenant M. Benoist est arrivé à les remplacer par des régulateurs à eau. Les palettes se meuvent dans une bâche fermée, et il suffit de varier de quelques centimètres le niveau de l'eau pour modifier la vitesse de marche du train et, par suite, la capacité de production du plan.

Un tableau dressé pour chaque plan donne immédiatement pour chaque vitesse de marche que l'on veut réaliser, la hauteur d'eau à introduire dans la bâche.

Il serait très désirable que les remarquables résultats obtenus ainsi fussent plus connus, et que ces régulateurs fussent adoptés d'une façon générale dans les plans inclinés si nombreux en France et si dangereux quand la vitesse dépend de la seule attention d'un ouvrier.

En finissant sur ce point, nous signalerons encore le plan San Firmin, à chariot porteur, qui avec une pente de 80 0/0 remonte de 134 *m* les wagons vides du chemin de fer du Triano, et les descend avec une charge de 6 000 *kg*.

Ce plan débite 1 000 *t* par jour sans aucune difficulté.

M. Gandolfi ne décrit pas moins de 14 plans inclinés différents dans son travail, auquel nous renvoyons ceux qui voudraient approfondir cette question des transports.

Chaînes flottantes. — Ces puissants plans inclinés de la Compagnie Franco-Belge eussent été bien insuffisamment employés s'ils

n'avaient pu débiter que la production des concessions sur lesquelles ils aboutissaient. Il fallait donc chercher à concentrer en tête de ces plans la production des différentes concessions isolées semées comme un collier tout autour du Triano. Grâce à tout un système d'amodiation de certaines concessions intermédiaires, de tunnels creusés sous des contreforts, la Compagnie est parvenue à relier par rails tous ses différents chantiers. Mais il y avait des pentes et des contre-pentes, des vallons à franchir et des promontoires à contourner; un système complexe de chaînes flottantes a permis de franchir ces contre-pentes sans intervention d'un moteur spécial; et s'il a été installé au point central vers lequel convergent ces chaînes une machine motrice, ce n'est que pour parer au cas où les chantiers supérieurs seraient arrêtés et où il faudrait concentrer la production sur certains chantiers en contre-bas.

Les chaînes flottantes jouent donc le rôle d'affluents pour alimenter les plans inclinés; par leur autre extrémité elles desservent le point terminus de la voie ferrée de la Compagnie.

Sur un autre centre d'exploitation éloigné de Bilbao, nous avons pu admirer la remarquable installation des câbles du Dicido établi par M. Brüll, notre collègue et ancien président (1).

Chemins de fer miniers. — Tous les moyens que nous venons de décrire sommairement ont permis de descendre les minerais dans le fond des vallées qui pénètrent entre les collines de Somorrostro, et les ont concentrés sur quelques stations centrales.

S'il avait pu régner une certaine entente entre tous ces exploitants, deux chemins de fer eussent amplement suffit pour recevoir et transporter à la rivière tous ces minerais. Au lieu de cela, il en a été construit cinq.

Dès 1859, la députation provinciale de la province de Biscaye entreprit un chemin de fer allant de la rivière à la base de la montagne de Triano. Ce chemin de fer construit à la voie espagnole de 1,75 *m* d'axe en axe se maintient dans le fond de la vallée (2); les travaux préparatoires furent lents puisque l'exploitation ne fut inaugurée qu'en juin 1865.

(1) Cette installation a été décrite par M. Brüll lui-même, avec tous les calculs si remarquables sur lesquels elle a été basée, dans le *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils* de 1884. 4e série — 8e volume.

(2) La gare terminus est à la cote 56 *m* au-dessus du niveau de la mer.

Prolongé progressivement, ce chemin de fer a maintenant un peu plus de 14 *km* de longueur et il a transporté, en 1887, 1 734 307 *t* de minerai.

Ce chemin de fer est surtout utilisé par les petits exploitants dont les câbles aériens, ou les plans inclinés viennent presque tous concourir vers les dépôts organisés sur les stations.

Les tarifs sont relativement élevés; en effet, ils sont par tonne pour les minerais arrivant par chars à bœuf (y compris les frais d'entretien des routes carrossables) . . . . 2 fr. 30
pour les minerais arrivant par tout autre mode de transport . . . . 2 fr. 00

Ce chemin de fer dessert par un embranchement les hauts fourneaux de San Francisco.

Vers 1872, une puissante Compagnie anglaise, persuadée ainsi que nous l'avons déjà dit, que les affleurements de *Rubio* qui couvrent les collines de Galdamès étaient l'indice d'une richesse inépuisable, entreprirent sans aucunes recherches préalables sur le gîte, un chemin de fer de 22 1/2 *km* de longueur qui ne devait pas coûter moins de 17 millions 1/2 de francs. Il serpente dans des vallées étroites; tour à tour en tunnel et en tranchées à flanc de coteaux à pic, ce chemin de fer qui est à double voie de 1,20 *m* d'axe en axe, était achevé en 1876, quand la vérité se fit jour sur le gîte de Galdamès.

La Compagnie dut liquider, changer de programme et chercher à venir faire concurrence au chemin de fer de la députation auprès des petits exploitants du Somorrostro.

Depuis le moment où ce chemin de fer a recherché cette clientèle, il a obtenu un certain trafic; en 1887 et 1888, il a pu transporter, chaque année, environ 900 000 *t* de minerais, y compris les 166 500 *t* de minerais et calcaires transportés en 1888 pour l'usine de la Viscaya. Ce chemin de fer monte jusqu'à la cote 111.

Un an plus tard, en août 1877, fut inauguré le chemin de fer de la Compagnie d'Orconera; à la voie de 1,05 *m* d'axe en axe, il grimpe hardiment jusqu'à la cote 200, et ses locomotives vont jusqu'à la base du grand plan incliné, puis après un rebroussement plus haut encore sur l'autre face de la montagne, chercher les minerais.

Ce chemin de fer, qui appartient à la plus puissante des Compagnies minières, se contente de transporter ses propres minerais, ce qui lui donnait déjà en 1887 un trafic de 1 056 261 *t*.

Un embranchement de cette ligne dessert les usines des Altos Hornos (anciennement Ybarra).

Vers la même époque, une autre Compagnie anglaise, la Luchana Mining Company se lançait, elle aussi, dans la construction d'une voie de 7 000 *m* de longueur pour aller desservir des mines mal reconnues et sans valeur; ce n'est qu'en 1887 que la Compagnie réorganisée avec d'autres éléments achevait les travaux et inaugurait la ligne. Elle a atteint péniblement en 1888 un trafic de 144 257 *t*. C'est aussi un chemin à voie de 1,05 *m* d'axe en axe.

Une fois solidement constituée et sûre des richesses qu'elle possédait, la Compagnie Franco-Belge du Somorrostro se mit à son tour à construire un chemin de fer. Elle s'est proposée comme but de se maintenir au fond même de la vallée de façon à avoir une traction aussi économique que possible. Sa gare terminus est à la cote de 28 *m* après un parcours de 7 000 *m*. Aussi des locomotives de 25 *t* remorquent-elles facilement des trains de 30 wagons chargés à 7 1/2 *t*.

Elle aussi, la Compagnie Franco-Belge, s'est efforcée d'attirer à elle du trafic, et tout en n'exploitant actuellement pas plus de 350 000 *t*, elle arrive en 1887 et 1888 à transporter chaque année environ 545 000 *t*.

Le tableau n° 11 (page 276) résume d'ailleurs les productions obtenues par les divers chemins de fer.

Tels sont les organes successifs qui se transmettent les minerais de la mine jusqu'au bord de la rivière.

Appontements. — Embarquement. — Les divers chemins de fer viennent tous se terminer à la rivière; quatre d'entre eux arrivent normalement au quai et se subdivisent en deux ou un plus grand nombre de voies qui s'avancent sur un appontement au-dessus de l'eau.

Le chemin de fer de Galdamès seul a un embarcadère parallèle au quai.

Les appontements perpendiculaires ne diffèrent que peu les uns des autres; chacun porte deux voies avec pente et contre-pente qui s'aiguillent ensemble vers leur extrémité.

Le train étant arrêté sur une voie à faible pente descendante et calé tous freins serrés, les wagons sont détachés l'un après l'autre, lancés vers l'extrémité de l'appontement vers lequel ils roulent d'eux-mêmes grâce à une pente suffisante. Arrivé à bout de course, le wagon trouve, suivant les Compagnies, ou bien un culbuteur qui

le saisit et le verse dans une vaste trémie, ou bien un levier qui fait ouvrir les clapets de fond.

Le wagon vide est ramené en position par les contrepoids du culbuteur, ou bien se referme automatiquement; il est aussitôt repoussé en arrière par deux hommes; il trouve une aiguille qui s'est faite d'elle-même et, descendant une pente, va rejoindre le train vide en formation.

Les wagons se succèdent ainsi, si rapidement, qu'on peut facilement avec un seul appontement décharger un train de 30 wagons en quarante minutes; et charger dans la journée plus de 3 000 *t*.

Mais les progrès réalisés dans la rivière ont amené une sérieuse difficulté au chargement. Les appontements des diverses Compagnies ont été construits à une époque où il semblait que le tirant d'eau de 18 pieds serait le maximum réalisable; de sorte que toutes les voies de chemin de fer, les ouvrages d'art, ponts, tunnels, etc., ont été exécutés sur un niveau fixé dans cette idée. Maintenant que la barre est abaissée, que des navires de 23 et 24 pieds peuvent venir se présenter devant les appontements, leur niveau est trop bas; et, aux heures de la pleine mer, il est impossible de commencer le chargement des grands navires.

La modification du niveau des appontements et des voies d'accès s'impose donc aux diverses Compagnies.

La Compagnie d'Orconera ne possède pas moins de cinq appontements distincts; la Franco-Belge, trois; le chemin de fer de la députation provinciale, six, et celui de Luchana, un; il y a donc sur moins de deux kilomètres de longueur quinze appontements parallèles; et, un peu plus bas, règne le grand appontement de Galdamès, où les couloirs sont groupés deux à deux à la distance ordinaire des panneaux de chargement des navires.

Prix de revient. — Dans une exploitation en carrière comme celle de Bilbao, où les découverts sont peu importants, et la proportion stérile à rejeter est faible, on comprend à première vue le rôle tout à fait prédominant du prix du transport.

C'est à la réduction du prix des transports que devait viser chaque exploitant.

Nous n'avons malheureusement pas d'éléments précis pour fixer et analyser le prix de revient; prix qui varie d'ailleurs du simple au double et probablement au triple suivant les dispositions prises soit pour l'exploitation soit pour les transports. Nous ne pouvons



donc qu'indiquer les éléments principaux qui entrent dans la formation du prix de revient :

1° *Redevances et impôts.* — *(a) Au gouvernement.* — L'exploitant paie un impôt de 1 0/0 de la valeur du minerai à la sortie de la mine (impôt analogue à l'impôt français de 5 0/0 sur le produit net). Cet impôt est, depuis de longues années, fixé invariablement à 1 réal par tonne (soit 0,25 *f*).

(b) A la municipalité de Bilbao. — L'exploitant a dû payer, depuis 1875 jusqu'au 1er octobre 1888, pour couvrir les frais de la guerre carliste, un impôt de 1/2 réal par tonne (0,125 *f*). Les frais de la guerre étant largement remboursés, la perception de cet impôt a pris fin.

Mais il a été de suite remplacé par un autre impôt d'une valeur double, 1 réal (0,25 *f*) par tonne pour payer les frais considérables qu'entraînera la création d'un avant-port en eaux profondes dans la baie.

(c) Enfin le navire doit payer *pour droits de ports* un impôt de 1 réal (0,25 *f*) par tonne de minerai embarqué.

La tonne de minerai embarqué supporte donc 0,75 *f* ou 3 réaux de droits divers.

(d) Les redevances à payer au propriétaire par les exploitants sont très variables, mais montent par fois jusqu'à 3 *f* et 3,50 *f* par tonne. Ainsi la Compagnie d'Orconera paie à MM. Ybarra une redevance de 1,50 *f* par tonne de minerai extrait.

2° *Exploitation.* — Dans les parties riches du gîte, les frais d'exploitation ne dépassent pas et n'atteignent probablement pas 1,50 *f* par tonne ; mais dans quelques exploitations de *Rubio*, où il faut opérer un triage considérable, on peut bien admettre que le prix monte à 2 *f* et 2,50 *f*.

3° *Transports.*—Tandis que par les voies ferrées le prix de revient du transport est de 0,10 *f* à 0,12 par tonne kilométrique, il atteint ccrtainement 0,75 *f* à 0,80 par tonne kilométrique et dépasse même ce chiffre quand il s'agit de transporter par câbles aériens Hodgson de faible longueur. On comprend donc l'intérêt qu'il y avait pour les mines à forte production à renoncer aux câbles aériens pour n'employer que les voies ferrées, en pente ou de niveau (plans inclinés, chaînes flottantes et voies horizontales à traction par machine).

Nous pouvons citer à l'appui de cette affirmation un exemple caratéristique :

Pour conduire son minerai des chantiers (niveau moyen 280 *m*) aux embarcadères sur le Nervion, la Compagnie Franco-Belge emploie :

Une chaine flottante sur. . . .	1 454 *m*	dc longueur
Une voie ferrée de mine sur. .	230 *m*	—
Deux plans inclinés sur	1 045 *m*	—
Et le chemin de fer sur. . . .	6 850 *m*	—
Total. . . .	9 579 *m*	de longueur.

Grâce aux dispositions prises en vue d'utiliser partout la pesanteur et de réduire la main-d'œuvre, le prix de revient du transport, de la mine à fond de cale, frais généraux non compris, a été en 1885 de 0,857 *f* et, frais généraux compris, de 1,05 *f* par tonne.

4° *Résumé.* — Suivant le nombre des transbordements et la succession des modes de transports employés, le prix du minerai de Bilbao doit donc descendre, impôts compris, à moins de 4 *f* et monter par contre actuellement encore pour certaines mines mal outillées à 6 et 7 *f* par tonne. A ce prix, il faut joindre la redevance au propriétaire de 1 *f* à 3,50 *f* par tonne.

On peut donc admettre que les usines, propriétaires de mines, pourraient, s'il le fallait, réduire sans être en perte le prix de consommation de leurs minerais (tenant 48 à 50 0/0), à 4 *f* ou 4,50 *f* par tonne rendue à l'usine ; mais elles renonceraient a la plus forte partie de la redevance. Redevance comprise, le prix de revient est donc de 5,50 à 7 *f* par tonne en moyenne.

Prix de vente. — Le type marchand du minerai de Bilbao Campanil ou Rubio rend 52 0/0 de fer quand il est desséché à 100°.

Il s'est fait souvent des marchés à des teneurs supérieures. Mais les cotes officielles se rapportent aux minerais ainsi définis.

Entre le Campanil et le Rubio, il a existé en tout temps un écart de prix de 6 à 8 pences (0,62 à 0,82 *f*); à égalité de teneur en fer, l'appréciation générale des acheteurs a donc établi entre les deux qualités de minerais une différence sensible en raison de la composition des gangues.

Dans ces derniers temps, les cours ont varié pour le Campanil de 7 à 8 sch. (8,75 à 10 *f*), et pour le Rubio de 6.6 à 7 (8,25 à 9,50 *f*) par tonne sur vapeur.

Le prix de vente est rarement descendu en dessous de 7 *f* à 7,25 *f*.

Développement de la production. Avenir de l'exploitation. — Nous résumons dans le tableau nº 9, (page 274), d'après deux sources différentes que nous indiquons, les variations de la production depuis vingt-huit ans. (Pl. 196, fig. 3.)

Nous rappellerons que jusqu'en 1849, l'exportation du minerai était absolument interdite, et qu'en 1855, elle n'atteignait pas 10 000 *t*.

Lent jusqu'en 1870, le développement fut considérable dans les années qui suivirent, mais l'absence de toute installation pour les transports terrestres, l'état de la barre qui rendait difficile le passage des navires, ne permirent pas aux propriétaires de répondre à toutes les demandes; les premiers moyens de communication commençaient à fonctionner quand la guerre carliste arrêta toute exportation pendant deux ans.

En cinq ans, une fois le calme rétabli, l'exportation atteint 3 700 000 *t* (1882). Mais à ce moment les affaires se resserrent dans tous les pays, et la déphosphoration devient un procédé pratique. L'exploitation se réduit et baisse de plus de 550 000 *t*, ce n'est que grâce à de très bas prix que la vente se maintient.

La reprise des affaires en Angleterre et en Allemagne a brusquement porté en 1887 l'exportation au delà de 4 170 000 *t*. Mais cet accroissement dépassait les forces de production des mines de la vallée du Nervion et, malgré l'importance des demandes, malgré les bons prix pratiqués, l'exportation n'a pas atteint 3 600 000 *t* en 1888, en baisse de plus de 550 000 *t* sur l'année précédente.

Ce résultat n'est pas fait pour étonner ceux qui ont été sur les lieux.

Les amodiataires de toutes les petites concessions anciennes ont tiré avec une telle ardeur tout le meilleur minerai, jetant aux remblais, ou enterrant sous les déblais tous ceux qui auraient demandé à être triés, que tout l'ancien campanil est actuellement épuisé. Par-ci par-là, au milieu de la solitude qui a fait place à l'activité fébrile des dernières années, quelques groupes d'ouvriers grapillent encore ou commencent à remanier les déblais et à les trier.

Beaucoup de petites concessions de Rubio sont encore en exploitation; mais le Rubio n'est que superficiel et sera vite épuisé.

Encore trois ou quatre ans, et il ne restera plus de minerais que dans les périmètres constitués par les grandes Compagnies qui ont sagement limité leur exploitation depuis plusieurs années. L'Orconera, la Franco-Belge et quelques autres ont évité d'exploiter au delà de ce qui était nécessaire à leurs propres usines. Loin de vendre des minerais, elles ont cherché à en acheter au contraire, pour diminuer d'autant la quantité à exploiter chez elles, et elles ont devant elles pour vingt ou vingt-cinq ans d'exploitation régulière sur le pied de 800 000 *t* pour l'Orconera et 350 000 *t* pour la Franco-Belge. Pour satisfaire à ces besoins, ces Compagnies utiliseront non seulement les minerais riches, mais ceux à 48 et 50 0/0 et les carbonates dont le grillage s'imposera.

La réduction d'exportation des mines de Bilbao n'est donc pas un fait accidentel; l'année 1887 a marqué certainement l'apogée de la production ; d'année en année, on verra rapidement le chiffre des minerais sortant par la rivière descendre à deux millions et demi de tonnes; mais le chiffre de 2 à 2 1/2 millions se maintiendra pendant de longues années; d'une part, par la production de l'Orconera et de la Franco-Belge et d'autre part par le développement des exploitations plus lointaines.

La meilleure preuve de ce que nous avançons, nous la trouvons dans l'examen des dernières colonnes de ce même tableau, n° 8, (page 274).

Tandis que l'exportation de l'ensemble des mines de Somorrostro diminuait de 550 000 *t* en 1888, l'exportation doublait, en deux ans, au Dicido, et doublait, de 1887 à 1888, à Saltacaballo. Maintenant que la concurrence effrénée de tous les petits exploitants de Somorrostro n'est plus là pour faire baisser les prix des minerais, les mines de la côte ou du haut de la vallée qui ont des frais plus considérables peuvent s'organiser pour produire. La production de l'ensemble des mines de la Viscaya et de Santander pourra donc se maintenir vers trois millions de tonnes puisque, à l'épuisement du gîte central, correspondra la mise en valeur d'une série de gîtes secondaires; mais les prix des minerais se relèveront puisque c'est à cette condition seule que les nouvelles exploitations peuvent vivre.

Destination des minerais. — La destination des minerais qui sortent de Bilbao est aussi un élément intéressant que nous donne le ***Journal de Bilbao***. La Grande-Bretagne reste toujours le grand consommateur; mais entre ses diverses provinces, il se produit un

changement remarquable; la consommation de l'Écosse passe de 4 à 13 0/0 tandis que celle de l'Angleterre se réduit de 70 à 56 0/0. La Belgique reste toujours un consommateur modeste 3 0/0; tandis que l'Allemagne développe ses demandes qui ont passé de 8 1/2 0/0 en 1878 à 20 0/0 en 1885 (tabl. nº 10, page 275).

Le développement de la consommation de minerais de Bilbao en Allemagne en 1887 et 1888 ne correspond nullement au développement de la production des fontes dans ce pays depuis trois ans; en effet, le relèvement du prix du minerai et des frets en 1888 a permis aux mines du Nassau en particulier de reprendre leur exploitation et surtout l'emploi des minettes du Luxembourg et de la Lorraine donne des fontes qui, après déphosphoration, fournissent des fers et aciers de bonne qualité marchande.

La France a été, à certaines années (1878), un gros consommateur. Mais c'est un consommateur irrégulier et ses demandes n'atteignent même pas 10 0/0 de la vente totale.

Quant aux États-Unis d'Amérique, ce ne sont pas ses usines qui règlent les demandes, ce sont ses armateurs qui viennent à Bilbao, comme à Bône et à Benisaff quand ils ne trouvent pas ailleurs un meilleur fret de retour. Ils ont pris 152 000 *t* en 1887 et moins de 15 000 en 1888.

Les variations des exportations des minerais vers l'Amérique caractérisent les variations du prix des frets.

Transformation du mode d'activité a Bilbao.

Origine de l'industrie métallurgique. — Si l'exploitation est appelée à subir une réduction sensible dans la région de Somorrostro, et si la prodigieuse circulation qui régnait sur le Nervion est appelée à se restreindre, il n'en faudrait pas conclure que le pays est appelé à dépérir, bien au contraire. Mais le mode d'activité est appelé à se transformer; à la simple exploitation s'adjoint rapidement l'industrie métallurgique, et l'un des faits qui ont certainement le plus frappé nos collègues, pendant leur séjour à Bilbao, c'est la création et le développement des usines métallurgiques.

Nous ne reviendrons pas sur le passé, sur la fabrication directe du fer, par le traitement de la *vena dulce*, dans les forges catalanes, dans les fours Chenot, dans les fours Tourangin et autres appareils du même genre; ces procédés ont presque disparu et n'ont plus qu'un intérêt historique.

Nous dirons, au contraire, quelques mots des trois grands éta-

blissements qui se succèdent sur la rive gauche du Nervion : les Altos Hornos, San Francisco et la Viscaya.

L'histoire du développement de ces établissements est l'histoire même de l'industrie espagnole.

Création des grandes usines. — En créant leur usine de *Nuestra Senora del Carmen au Desierto*, en 1857, MM. Ybarra ont de suite eu en vue d'utiliser le combustible étranger apporté par les navires venant charger le minerai. Ce sont ces industriels qui, en 1858, mirent à feu le premier haut fourneau au coke de la région, un petit haut fourneau de 100 m^3 avec appareils à air chaud du type Calder. Le fer obtenu par le puddlage ou l'affinage de ces fontes devait satisfaire en partie au moins aux besoins qui commençaient à naitre.

Mais Bilbao était isolé du reste de l'Espagne ; les grands travaux étaient entrepris avec des capitaux étrangers, et c'étaient les rails et les fers anglais, français ou belges qui seuls étaient employés dans les constructions de chemin de fer.

L'usine ne se développa que bien lentement et ce n'est qu'en 1873 que fut entreprise la construction d'un fourneau de 17 *m* de hauteur, considéré comme grand fourneau pour l'époque et le pays.

A la même époque, des Anglais veulent réaliser l'idée d'exporter des fontes au lieu de minerais, et commencent à construire les hauts fourneaux de San Francisco.

Mais la guerre carliste éclate, et il faut attendre encore près de trois ans avant de pouvoir continuer l'exécution des travaux. Ils ne sont repris que lentement, l'affaire périclite, et ce n'est qu'en 1882, que le marquis de Mude la reprend enfin et met en marche régulière les deux premiers fourneaux de cette usine de San Francisco.

Dans cette même année, l'ancienne Société Ybarra se transforme ; elle se reconstitue par actions au capital de 12 millions et demi, sous le nom de Sociedad de Altos Hornos y fabricas de hierro y acero de Bilbao ; et vise à devenir une grande aciérie.

Quelques mois plus tard se créaient à leur tour, sur le modèle de Seraing et d'Isbergue, les hauts fourneaux de la Viscaya.

Ce n'est donc en réalité que de 1882-1883 qu'on peut faire dater l'introduction de la grande industrie métallurgique à Bilbao.

Les commencements ont été difficiles, la marche des fourneaux peu satisfaisante, la création des débouchés pénible ; mais en Espagne comme dans tous les autres pays se réveille à son tour le

sentiment qu'il faut soutenir l'industrie nationale et en favoriser le développement.

Construction de la marine de guerre en Espagne. — Le patriotisme se révolte à l'idée que le matériel naval et celui des chemins de fer, vient tout entier de l'étranger ; et la Reine Régente témoigne de l'intérêt qu'elle porte à l'industrie nationale en venant elle-même visiter les grandes usines métallurgiques, celles des Altos Hornos à Bilbao, et la Maquinista à Barcelone.

La question des encouragements à donner à l'industrie nationale passionne les Cortès, et en particulier quand est traitée la question de la réorganisation de la flotte militaire, il est décidé que la somme de 500 millions de pesetas qui doit être dépensée en dix ans, le sera presque exclusivement en Espagne, pour payer des navires fabriqués dans des usines espagnoles.

Le gouvernement ordonne que pour commencer l'exécution de ce plan, il sera construit six grands croiseurs de 6 000 *t* devant filer de 16 à 22 nœuds; quatre torpilleurs de haute mer à deux hélices, et vingt torpilleurs de 60 *t*.

De ces grands croiseurs, trois nommés *Alphonse XIII*, *Lepanto* et *Marquis de la Ensenada*, ont été de suite mis en chantier dans les arsenaux de l'État, l'un à l'arsenal de Cadix, l'autre au Ferrol arsenal de la Corogne et le troisième à Carthagène ; et, pour l'exécution des trois autres, il a été ouvert un concours entre les usines nationales et celles de l'étranger qui s'engageaient à venir créer en Espagne un établissement pour fabriquer avec des produits nationaux. (Décret du 28 décembre 1887.)

Les soumissions ont été remises en avril 1888; elles étaient au nombre de neuf, mais la lutte se localisa de suite entre deux concurrents de Bilbao, M. de Rivas, propriétaire de l'usine de San Francisco associé à MM. Palmers et Cie, constructeurs anglais; et la Société de la Viscaya, associée aux chantiers de la Gironde et indirectement ainsi au Creuzot.

La lutte fut des plus vives, et finalement ce sont M. Martinez de las Rivas et sir Charles Palmers qui ont été déclarés adjudicataires, le 28 août 1888, au prix de 15 millions de pesetas par croiseur.

Les deux concurrents n'étaient que fabricants de fonte, ils s'engageaient, dans le délai de trois ans, à créer et mettre en marche une aciérie, à organiser un chantier maritime et à livrer armés et équipés trois cuirassés.

La Compagnie de San Francisco n'avait même pas ébauché la construction d'une aciérie; celle de la Viscaya, plus hardie, avait, dès l'automne 1887, entrepris la construction d'une grande usine.

L'année 1889 verra donc deux grandes usines s'élever le long du Nervion à côté de celle des Altos Hornos. (Pl. 196, fig. 1.)

Usine des Altos Hornos. — En s'installant en 1857 au Desierto, MM. Ybarra n'avaient pu prévoir le développement que leur usine serait appelée à prendre; ils n'acquirent qu'un terrain trop restreint et laissèrent les maisons ouvrières l'enserrer; de sorte qu'actuellement l'usine manque d'espace, et les ateliers sont trop petits, trop enchevêtrés les uns dans les autres.

Cette usine comprend quatre hauts fourneaux : deux petits actuellement hors feu, et deux grands qui sont en pleine production.

Les dimensions principales sont :

	Fourneau n° 1.	*Fourneau n° 2.*
Hauteur.	24 *m*	22 *m*
Diamètre au creuset.	4 *m*	2,60 *m*
d° au ventre.	5 *m*	5,40 *m*
d° au gueulard	5 *m*	4,60 *m*
Cube	365 m^3	300 m^3

Le fourneau n° 1 est à cuve absolument cylindrique, et le n° 2 n'a qu'une différence de 0,60 *m* entre le diamètre au ventre et au gueulard.

Il y a là une innovation peu rationnelle qui a dû contribuer pour une forte part dans les irrégularités de marche qui nous ont été signalées. Les matières dans l'axe des fourneaux coniques, ont déjà une tendance fâcheuse à devancer les matières situées le long des parois. Ce défaut doit s'accentuer encore sensiblement, quand aux autres causes retardatrices, vient se joindre le frottement le long des parois cylindriques.

Un autre détail, la réduction du nombre des appareils Cooper à deux par fourneau, a pu être imposée par le manque de place, mais ne peut certes pas être recommandée dans des fourneaux qui marchant en fonte Bessemer, doivent avoir une parfaite régularité d'allure.

La grandeur des appareils (18 *m* de hauteur et 9 *m* de diamètre) suffit peut-être pour débiter la totalité des gaz produits. Mais les variations de température de l'air au changement d'un appareil,

sont forcément trop considérables quand on ne possède que deux appareils.

Chacun de ces fourneaux produit en moyenne 85 *t* de fonte par 24 heures; ils livrent donc ensemble à l'aciérie Bessemer environ 170 *t* de fonte; cette fonte est transformée en acier en treize ou quinze opérations, faites en 12 heures; car, faute d'une quantité suffisante de fonte, l'aciérie ne marche jamais que de jour. La puissance de production de l'aciérie est environ double de celle des fourneaux. Quant aux lingots, ils passent à un train de laminoir établi par M. Richards, ingénieur de MM. Bolkon et Waughan sur le modèle de l'usine d'Eton. Faits pour produire 100 000 *t* de rails et poutrelles par an, ces laminoirs ne marchent là que de jour, et ils n'arrivent pas à une production de plus de 20 000 *t*.

La fonte manque pour alimenter; les commandes manquent pour justifier l'installation de cubilots à défaut de fourneaux pour lesquels l'espace fait défaut.

Ce qui frappe donc dans cette usine, c'est la puissance de certains outils, mais en même temps le manque de corrélation entre les organes qui doivent concourir à un même but.

Les exigences imposées aux tôles de marine ont nécessité la création d'un premier four Siemens de fusion; et, parallèlement au train à rails, on prépare l'installation d'un grand laminoir à tôle qui sera attelé sur la grande machine réversible du train finisseur.

Usine de San Francisco. — Séparée seulement de l'usine du Desierto par le Rio Galindo, se trouve l'usine de San Francisco avec ses quatre hauts fourneaux, dont trois en feu en 1888 produisaient chacun de 50 à 55 *t* par 24 heures.

Cette usine produisait et vendait donc annuellement environ 60 000 *t* de fonte.

Depuis le mois de septembre 1888, on travaille avec une fiévreuse activité à préparer tous les ateliers nécessaires à l'exécution des grands cuirassés qui devront dans deux ans et demi sortir tout armés de ces chantiers où les terrassements étaient à peine commencés en octobre 1888.

Tout l'outillage sera amené d'Angleterre par MM. Palmers et Cie

Usines de la Viscaya. — Plus près de Portugalète, à Sestao, s'étend entre le flanc escarpé de la montagne et la rivière rectifiée une longue bande étroite marécageuse que la Compagnie de la Viscaya projette d'occuper complètement par ses ateliers, ou ses chantiers maritimes. (Voir pl. 197.)

La construction des fourneaux commencée en 1883 a été assez avancée pour permettre la mise en feu du premier en juillet 1885; le premier fourneau n'a fourni qu'une courte campagne et a dû être reconstruit. Actuellement tous les deux sont en feu; ils ont les dimensions suivantes :

	Fourneau n° 1 (reconstruit)	*Fourneau n° 2 (type primitif)*
Hauteur	20 *m*	20 *m*
Diamètre au creuset .	3 *m*	2,40 *m*
Diamètre au ventre .	6 *m*	5,30 *m*
Diamètre au gueulard	4,70 *m*	4,10 *m*
Cube.	360 *mc*	290 *mc*

Il n'y a dans cette usine pas moins de six appareils Withwell de 12 *m* de hauteur à chaque fourneau; aussi y en a-t-il toujours quatre au gaz et deux au vent. Grâce à cette multiplicité d'appareils on arrive à une régularité remarquable de marche et à une réduction sensible de consommation de coke; moins de 1 000 *kg* par tonne de fonte grise. Et pourtant le minerai employé ne rend que 49 0/0, et il est si fortement siliceux (16 à 18 0/0) qu'il ne faut pas ajouter moins de 30 0/0 de castine ; ce qui réduit la teneur du lit de fusion à 39 ou 40 0/0. Il est vrai de dire que le combustible est du coke anglais à 7 et 8 0/0 de cendres.

La production de fonte, de 80 000 *t* en 1888, a été entièrement vendue et exportée.

Le tableau ci-dessous indique la composition des différentes fontes produites.

N°ˢ	*Silice*	*Manganèse*	*Soufre*	*Phosph.*	*Observations*
1	1,60 à 2,20	1,20	0,015 à 0,025	0,040	Marche extracalcaire.
	2,20 à 3,00	1,00	0,025 à 0,040	0,040	Marche moins calcaire.
2	1,40 à 2,30 Moyᵉ 1,85	1,00	0,025 à 0,045	0,040	Suivant la marche plus ou moins calcaire.
3	1,30 à 1,90 Moyᵉ 1,60	1,00	0,045	0,040	
4	0,90 à 1,30 Moyᵉ 1,10	0,90	0,055	0,040	
5	0,50 à 0,90 Moyᵉ 0,70	0,80	0,070	0,040	
6	0,30 à 0,50 Moyᵉ 0,40	0,70	0,100	0,035	Truitée.
7	0,30	0,60	0,140	0,035	Blanche.

La vente de ces fontes est si active que la construction d'un troisième grand fourneau est en projet pour être exécuté à bref délai.

Jusqu'à la fin de 1888, cette usine comme les deux autres faisait venir tous ses cokes d'Angleterre ; mais elle s'est décidée à fabri-

quer elle-même son coke, tout d'abord avec des houilles anglaises, Mais la pensée est d'arriver peu à peu à substituer les houilles des Asturies aux charbons étrangers. C'est la Société de carbonisation de la Loire (Carvès et C[ie]) qui est venue, en participation avec la Société de la Viscaya, installer quatre batteries de trente-six fours avec toute l'organisation pour l'obtention des sous-produits et leur transformation en produits marchands.

Deux batteries (72 fours) sont dès maintenant en marche et les résultats semblent remplir pleinement le but poursuivi.

L'usine de la Viscaya s'était préparée à installer tous les ateliers nécessaires au cas où, comme elle le pensait, elle aurait obtenu la construction des cuirassés; son échec l'a obligée à modifier ses plans, mais ne l'a pas fait hésiter à se lancer dans la fabrication de l'acier.

L'emplacement réservé au Bessemer reste provisoirement vide; mais sur les huit fours Siemens de fusion projetés, trois sont en construction et seront mis en feu vers mars ou avril. Ces fours seront grandement installés avec grue centrale, grues de démoulage, le tout mû hydrauliquement. Dressés par un ingénieur, M. Beck, qui a acquis dans diverses Compagnies françaises une grande expérience de ces installations, ces plans donnent à penser qu'on pourra trouver là dans peu de mois une usine modèle.

Les aciers produits seront passés dans une série de laminoirs, actuellement en construction par les soins de Delattre de Ferrières-la-Grande près Maubeuge, et débités en petits profilés.

Le but est d'obtenir des fers fondus qui puissent se substituer dans les usages ordinaires aux fers puddlés.

La fabrication des tôles sera installée peu après. Mais dès maintenant se monte une fabrique de fer-blanc qui vise à produire à bref délai 40 000 caisses et est disposée de façon à pouvoir atteindre 80 000 caisses.

Production de la fonte. — En résumé, en 1888, il a été produit dans la vallée du Nervion environ 200 000 *t* de fonte dans sept hauts fourneaux: environ 60 000 *t* dans les deux fourneaux de la Compagnie des Altos Hornos; environ 60 000 *t* dans les trois fourneaux de la Compagnie de San Francisco et environ 80 000 *t* dans les deux fourneaux de la Compagnie de la Viscaya.

Pour cette fabrication il a été consommé d'après la statistique officielle, environ 414 000 *t* de minerais; ce qui correspond à un rendement moyen de 49 0/0.

Tandis que l'usine des Altos Hornos transforme la presque tota-

tité de ses fontes en fer et acier, les deux autres usines ont encore en 1888 vendu toute leur production. Il est donc sorti de Bilbao, d'après un état officiel, 135 200 *t* de fonte en 1888 (1).

La production de la fonte croît rapidement d'année en année; en effet, elle était en 1886 de 150 à 155 000 *t*; en 1887, de 170 à 175 000 *t* et a atteint, en 1888, 200 000 *t*.

On comprend l'intérêt qu'ont les usines à forcer la production de leur fonte quand on se rend compte de l'écart encore considérable qui existe entre le prix de revient et le prix de vente des fontes.

M. Pourcel donnait, en 1887, dans le *Génie Civil* (2) divers chiffres dont nous avons pu en grande partie contrôler l'exactitude et arrivait à établir un prix de revient de 44 à 48 *f* par tonne pour la fonte ; il se décompose à peu près comme suit :

2 050 *kg* de minerai à 6 *f* ou 6,50 *f*	=	12,30 à 13,32
1 000 *kg* de coke à 24 *f* ou 24,50 *f*	=	24,00 à 24,50
600 *kg* de castine à 3,75 *f*	=	2,25
Frais de façon (main d'œuvre, entretien et frais généraux)	=	7,00
Prix de revient total	=	45,55 à 47,07

Avec l'économie réalisée par la fabrication du coke sur place et l'utilisation des sous-produits; avec la réduction de la consommation à 950 *kg* en cas d'un nombre suffisant de bons appareils à air chaud et la réduction des frais de façon dans des fourneaux à forte production, nous croyons que ce prix de revient peut facilement tomber en dessous de 44 *f*, prix indiqué par M. Pourcel, il y a deux ans.

Il existe donc entre le prix de revient et le prix de vente possible des fontes à Bilbao un écart qui justifierait pleinement la construction de nouveaux fourneaux; tandis qu'au contraire on peut se demander si la construction simultanée de deux nouvelles usines à acier à côté de l'ancienne usine des Altos Hornos ne dépasse pas les besoins. Il nous semble douteux que les Compagnies puis-

(1) Ventes de fontes de Bilbao en 1888.

Usine de :	en Espagne	a l'Etranger	Total
Altos Hornos	8 500	13 400	21 900 *t*
San Francisco (Mudela)	14 800	25 300	40 100
Viscaya	26 000	47 200	73 200
	49 300	85 900	135 200 *t*

(2) Tome XI, n° 5. — 4 juin 1887.

sent réaliser dans la fabrication de l'acier et des produits laminés des bénéfices comparables à ceux résultant de la vente des fontes.

Mais, il faut bien s'en rendre compte, il y a un grand intérêt national pour l'Espagne à se rendre indépendante au point de vue de la métallurgie et des constructions métalliques en général, et c'est cette pensée patriotique qui justifie en partie les grands projets exécutés simultanément à San Francisco et à la Viscaya.

Question ouvrière

Pour répondre à ces demandes si rapidement croissantes de minerais, la main d'œuvre a rarement fait défaut et elle s'est présentée même si abondamment que les prix des journées n'ont pas subi de fortes hausses; cette population ouvrière était entièrement novice aux travaux de mines et l'exploitation était le plus souvent confiée à des tâcherons ou entrepreneurs peu expérimentés dont la principale préoccupation était de produire beaucoup et à bas prix.

Les accidents furent donc très nombreux, les maladies beaucoup aggravées par l'encombrement des habitations; aussi, en mai 1880, les principaux exploitants des mines et des voies ferrées se réunirent-ils pour poser les bases d'une organisation commune de secours aux blessés et aux malades.

On décida la création d'un hôpital central de cinquante lits et de quatre maisons de secours à proximité des quatre principaux groupes d'exploitation.

Les frais furent partagés proportionnellement à l'importance des entreprises :

La Députation provinciale, en raison de son entreprise de transport prit	12 0/0	de la dépense
La Bilbao Iron Ore Company (Galdamès).	12 0/0	—
La Orconera Iron Ore Company.	12 0/0	—
La Compagnie Franco-Belge . .	10 0/0	—
MM. Ybarra frères et Cie	8 0/0	—

Ainsi les cinq grandes entreprises d'exploitation ou de transport prirent à leur charge 54 0/0 de la dépense, tandis que les 46 0/0 furent partagés entre dix-sept exploitants à raison de 2 à 4 0/0. Peu après on reconnut la nécessité de créer un hôpital spécial d'isolement pour les varioleux, et on arriva ainsi à dépenser environ 150 000 pesetas pour les constructions et aménagements intérieurs.

A la place de la Société en participation formée primitivement, a été organisée, en 1884, une Société anonyme par actions, au

capital de 150,000 pesetas; les actions sont de 500 pesetas ; elles sont réparties entre les différents exploitants dans les proportions indiquées ci-dessus. Ces actions rapportent 5 0/0.

Cette Société est dirigée par un Conseil élu formé de dix membres; et ce Conseil a qualité pour fixer, suivant les besoins, la quotité à fournir par chaque actionnaire en vue de satisfaire à tous les besoins.

Les exploitants doivent payer 0,10 de réal (0,025 *f*) par tonne de minerai extrait, et en plus 0,01, 0,02, 0,03 et 0,04 de réal (0,0025 à 0,01 *f*) par tonne de minerai transporté, suivant le nombre des manœuvres.

A leur tour, les exploitants retiennent aux ouvriers 2 0/0 de leurs salaires.

Mais cette retenue ne suffit pas à couvrir les frais, et chaque année les Compagnies et exploitants doivent compléter pour équilibrer les comptes.

Les dépenses montent en moyenne à 145 000 pesetas par an.

Le compte rendu du 1er décembre 1886 au 30 novembre 1887 (septième exercice annuel), indique comme dépenses :

Intérêts de 5 0/0 payés aux actionnaires. . Pesetas	7 500 »
Amortissement du mobilier et de l'outillage . . .	6 320,43
Frais de nourriture	25 804,98
— d'entretien des immeubles	8 725,19
— généraux	10 097 »
Caisse de secours	6 725 »
Frais d'éclairage et chauffage	1 971,82
— spéciaux en raison des épidémies	2 668,21
Appointements du personnel	42 172,23
Médicaments et accessoires	31 728,79
	143 713,65

Il est à remarquer que, s'il est fait beaucoup pour guérir ou soulager les malades et blessés, il n'est distribué qu'une faible somme de 6 725 *f* entre les blessés à titre de secours et indemnités.

En effet, il n'est rien donné à titre de journées d'interruption de travail; il est seulement donné une somme variant de 150 à 500 pesetas aux ouvriers estropiés, suivant l'importance de l'incapacité permanente de travail :

500 *f* pour la cécité complète; 250 *f* pour la perte d'une jambe, d'un bras, etc.

L'hôpital central, de Buenos-Ayres, installé sur un promontoire loin de toute habitation, au Triano, est un bel édifice remarquablement bien tenu et dont l'organisation fait le plus grand honneur au médecin principal, docteur Areilza, dont l'habileté comme chirurgien est vantée dans tout le pays.

Dans l'année du 1er décembre 1886 au 30 novembre 1887, il a été traité à cet hôpital 1 117 personnes dont 814 malades et 303 blessés.

Malgré la gravité des opérations qui sont relatées dans le rapport (dont 7 amputations et 10 résections de membres), il n'y a eu qu'un seul décès parmi les blessés.

Si l'on y joint les malades et blessés soignés à domicile, on a en traitement un total de 892 blessés et de 1 427 malades dans l'année.

La proportion des blessés et des malades est très variable suivant les districts : ainsi dans la section de Matamoros, qui est celle des exploitations des grandes Compagnies, il y a 33 blessés par rapport à 77 malades ; au contraire, dans les districts où prédominent les petites exploitations, la proportion des blessés atteint 48 contre 52 malades.

Mais il n'est plus temps de parler d'améliorer les conditions de l'exploitation, car, le dernier rapport de la Commission de l'hôpital dit : « Depuis le jour (1881) où a été établi l'hôpital central » de Buenos-Ayres, la situation a complètement changé ; certaines » mines qui paraissaient inépuisables, n'ont pas pu résister à l'ex- » ploitation intensive à laquelle elles ont été soumises. Quelques- » unes sont déjà épuisées; la plupart sont en décadence ; et le » jour n'est pas éloigné où ce district ne contribuera plus que » pour une somme insignifiante aux dépenses de l'hôpital. De ce » côté l'exploitation s'est restreinte, mais, par contre, elle se dé- » veloppe dans les régions du Regato, de Galdamès et de Mata- » moros. »

Et comme conséquence de cette transformation si inattendue des conditions locales, la Commission demande et obtient la création d'un second hôpital, qui sera élevé dans le district où se centralise la production.

Nous trouvons donc dans un rapport signé par tous les principaux exploitants la confirmation officielle de ce que nous avions cru reconnaître, c'est que des anciennes exploitations du Somorrostro il ne restera plus bientôt qu'un souvenir, et que la production, restreinte d'ailleurs, ne sera obtenue que grâce au développement d'une série d'exploitations ouvertes sur des gisements

éloignés qui avaient paru à l'origine trop peu importants ou de qualité trop médiocre.

On peut donc se demander s'il est bien prudent, quand cette situation des exploitations est bien constatée, et que le tonnage qui alimente les redevances se réduira d'un tiers, peut-être de moitié, de se lancer dans les dépenses considérables d'aménagement de la rade.

Il semble donc qu'à Bilbao, aussi bien qu'à Barcelone, les travaux déjà exécutés ont, avec des dépenses relativement faibles, produit les plus remarquables effets; et dans l'un comme dans l'autre des ports il serait peut-être sage de ne pas se lancer dans des entreprises beaucoup plus vastes. N'en résultera-t-il pas, à l'importation à Barcelone, comme à l'exportation à Bilbao, des charges qui pourraient avoir de graves conséquences pour le développement ultérieur du commerce et de l'industrie?

E. Gruner.

TABLEAU N° 1.

PORT DE BARCELONE

Administration de la Junta de las Obras del Puerto.

RECETTES ANNUELLES

EXERCICES	TAXES pour LES TRAVAUX	AUTRES RECETTES	TOTAL des RECETTES ORDINAIRES
	Pesetas	*Pesetas*	*Pesetas*
20 février 1869 — 30 juin 1869..	173 023	»	173 023
1 juillet 1869 — 30 juin 1870..	627 929	»	627 929
» 1870 — » 1871..	594 293	»	594 293
» 1871 — » 1872..	861 620	»	861 620
» 1872 — » 1873..	742 305	»	742 305
» 1873 — » 1874..	745 154	»	745 154
» 1874 — » 1875..	881 014	16 108	897 122
» 1875 — » 1876..	897 218	31 009	928 227
» 1876 — » 1877..	1 315 177	29 459	1 344 636
» 1877 — » 1878..	1 097 942	66 288	1 164 230
» 1878 — » 1879..	1 280 443	61 702	1 312 145
» 1879 — » 1880..	1 228 729	27 018	1 255 747
» 1880 — » 1881..	1 232 660	24 276	1 256 936
» 1881 — » 1882..	1 372 424	56 279	1 428 703
» 1882 — » 1883..	1 577 743	26 639	1 604 382
» 1883 — » 1884..	1 451 441	39 969	1 491 410
» 1884 — » 1885..	1 460 099	19 325	1 479 424
» 1885 — » 1886..	1 573 644	20 404	1 594 048
	19 112 858	418 476	19 531 334

TABLEAU N° II.

PORT DE BARCELONE

Administration de la Junta de las Obras del Puerto

DÉPENSES ANNUELLES

EXERCICES	DÉPENSES GÉNÉRALES DES TRAVAUX (dragages exceptés)	DRAGAGES	EXPROPRIATIONS	SECRÉTARIAT	DÉPENSES DIVERSES	OBLIGATIONS		TOTAUX
						INTÉRÊTS	AMORTISSEMENT	
	Pesetas	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*
1er juillet 1870 — 30 juin 1875. . .	3.701.109	3.031.389	18.810	107.977	129.658	663.040	23.500	7.735.483
» 1875 — » 1876. . .	264.764	32.871	»	20.312	3.411	243.635	25.000	589.993
» 1876 — » 1877. . .	239.929	»	1.250	24.012	»	238.980	22.000	526.171
» 1877 — » 1878. . .	258.338	»	»	25.815	119	241.115	25.000	550.387
» 1878 — » 1879. . .	463.859	»	13.456	31.531	15.656	236.670	91.500	852.672
» 1879 — » 1880. . .	616.093	371.178	225.390	28.274	1	233.975	724.500	2.199.411
» 1880 — » 1881. . .	759.414	123.762	1.029.046	29.520	1	176.522	495.500	2.613.765
» 1881 — » 1882. . .	675.215		340.030	30.233	5.937	144.603	56.000	1.251.988
» 1882 — » 1883. . .	1.303.621		214.227	23.296	13.338	171.087	24.000	1.759.569
» 1883 — » 1884. . .	1.318.341		70.857	25.567	4.735	168.735	25.500	1.613.735
» 1884 — » 1885. . .	1.297.172		116.695	27.676	1.240	166.707	24.500	1.633.990
» 1885 — » 1886. . .	1.294.078		20.382	25.567	3.190	169.773	25.000	1.537.990
	15.811.133		2.049.913	399.980	177.286	2.854.842	1.572.000	22.865.154

TABLEAU N° III.

PORT DE BARCELONE

Administration de la Junta de las Obras del Puerto.

RECETTES EXTRAORDINAIRES

(Emprunts en obligations de 200 écus, — ou 500 francs, — intérêt 7 0/0.)

EXERCICES	NOMBRE D'OBLIGATIONS ÉMISES	TAUX MOYEN D'ÉMISSION (EN ÉCUS)
1869—1870	1 000 1 000 1 000	202,00 *Écus* 205,20 209,965
1872—1873	1 000 1 000	212,00 208,850
1873—1874	1 000 1 000	203,740 205,500
1881—1882	1 000	200,00
TOTAL	8 000	» pour 4 108 443 P°

RECETTES TOTALES (1869-1886)

	Pesetas
Recettes annuelles	19 531 334
Emprunts (valeur réelle)	4 108 443
RECETTES TOTALES	23 639 777
Dépenses totales	22 865 154
EXCÉDENT DE RECETTES	774 623

SITUATION DES EMPRUNTS AU 30 JUIN 1886

Emprunts (valeur nominale)	4 000 000
Remboursé	1 572 000
RESTE A REMBOURSER	2 428 000

TABLEAU N° IV.

Tableau des Travaux entrepris par la « Junta de Obras del Puerto de Bilbao »
(Commission des Travaux du Port de Bilbao).

DÉSIGNATION DES TRAVAUX	DATE DE L'APPROBATION ROYALE DES TRAVAUX	DATE DE L'APPROBATION DES ADJUDICATIONS	DEVIS DES TRAVAUX	MONTANT DE L'ADJUDICATION	ÉTAT DES DÉPENSES EFFECTUÉES AU 30 JUIN 1887	RAPPORT DES DÉPENSES RÉELLES AU CHIFFRE DES ADJUDICATIONS	DATE DE L'ACHÈVEMENT DES TRAVAUX
			Pesetas	*Pesetas*	*Pesetas*		
Rectification de la courbe de Elorrieta	2 juillet 1878 . .	24 août 1878 . . .	1 710 175,49	1 281 779,72	1 299 076,38	1013/1000	Travail reçu définitivement le 3 juin 1884.
Amélioration de la barre et de la moitié inférieure de la rivière	4 décembre 1879.	29 mars 1880 . . .	4 307 903,48	3 740 679,55	2 928 285,78	782/1000	Travail qui doit être achevé le 3 octobre 1888.
Dragage de la moitié inférieure de la rivière. . . .	4 décembre 1879.	2 mars 1880 . . .	588 493,75	524 474,40	524 525,94	1000/1000	Travail terminé le 16 septembre 1884.
Dragage de la moitié inférieure de la rivière (2e traité)	6 juin 1883 . . .	13 septembre 1883.	1 877 590,74	1 727 400,00	1 299 568,43	752/1000	Travail terminé le 24 novembre 1887.
Amélioration de la moitié supérieure de la rivière. . .	14 février 1881 . . 28 juin 1886 . . .	11 avril 1881 . . . En régie	2 863 465,60 118 076,00	2 860 393,37 »	2 812 345,84 111 153,96	983/1000 »	Travail reçu provisoirement le 5 mai 1887.
Dragage de la darse de Axpe .	11 mars 1882 . . .	En régie	826 371,40	»	658 931,75	»	Travail terminé le 17 juillet 1886.
Etablissement des bornes d'amarrage.	6 juin 1882 . . .	17 août 1882 . . .	248 396,85	209 960,00	194 000,49	993/1000	Travail reçu définitivement le 18 mai 1885.
Etablissement d'éclairage électrique.	31 janvier 1883 . .	En régie	128 214,41	»	128 025,73	998/1000	Les premières lampes électriques furent allumées le 15 octobre 1883. Travail achevé en mars 1884.
Etablissement de grues . . .	22 mars 1882. . . 24 mai 1878 . . .	28 juin 1886 . . . En régie	540 610,75 17 071,59	428 706,00 »	135 661,20 8 924,63	En cours d'exécut^{on}	Travail terminé le 17 juillet 1887.
TOTAL.			13 226 370,06	11 863 126,44	10 499 194,75		

TABLEAU N° V.

Recettes et Dépenses de la « Junta de Obras del Puerto de Bilbao »

(Commission des Travaux du Port de Bilbao).

EXERCICES	RECETTES				DÉPENSES						
	TAXES MARITIMES ET RECETTES DIVERSES (y compris le solde en caisse)	SUBVENTION DE L'ÉTAT	EMPRUNTS EN OBLIGATIONS	TOTAL DES RECETTES	TRAVAUX NEUFS	TRAVAUX DE RÉPARATION ET ENTRETIEN	FRAIS GÉNÉRAUX D'ADMINISTRATION ET ÉTUDES	DESTRUCTION DES ÉPAVES	INTÉRÊT DES OBLIGATIONS	REMBOURSEMENT DES OBLIGATIONS	TOTAL DES DÉPENSES
	Pesetas	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*	*Pesetas*
1er juil. 79 — 30 juin 80	757 424,81	»	»	757 424,81	362 865,28	81 837,30	52 336,20	8 807,17	»	»	505 855,95
» 80 — » 81	1 136 168,67	»	»	1 136 168,87	825 187,00	82 337,00	49 567,55	»	»	»	957 091,66
» 81 — » 82	1 079 467,51	100 000,00	970 263,25	2 149 730,76	1 569 517 76	117 651,86	61 883,60	12 618,77	50 000,00	»	1 811 671,99
» 82 — » 83	1 516 600,30	75 000,00	975 500,15	2 567 100,45	1 857 081,76	100 099,87	69 879,14	46 279,77	100 000,00	»	2 173 340,54
» 83 — » 84	1 549 036,68	125 000,00	399 558,85	2 073 595,53	1 612 296,50	99 647,15	76 950,77	12 436,82	110 762,50	»	1 912 093,74
» 84 — » 85	1 463 620,10	150 000,00	660 636,50	2 274 256,60	1 707 398,62	100 806,87	75 571,34	»	150 000,00	»	2 033 776,83
» 85 — » 86	1 584 380,94	100 000,00	754 395,30	2 438 776,24	1 649 920,85	99 367,27	74 589,26	2 801,52	187 500,00	61 000,00	2 075 178,90
» 86 — » 87	1 749 724,04	100 000,00	450 194,25	2 299 918,29	1 439 255,79	99 966,82	77 225,08	4 964,41	207 875,00	128 000,00	1 957 287,10

TABLEAU N° VI.

Progression des Travaux pour la Suppression de la Barre de Bilbao.

ANNÉES	TRAVAUX EXÉCUTÉS (Longueurs comptées en avant de l'ancien môle de Portugalète)		SITUATION DE LA BARRE		LARGEUR DE LA PASSE CRÉÉE	TONNAGE MAXIMUM DES NAVIRES SORTANT EN CHARGE		OBSERVATIONS
	ENROCHEMENT (à la hauteur des basses mers d'équinoxe)	JETÉE EN MAÇONNERIE (à la hauteur des hautes mers d'équinoxe)	DISTANCE DU SOMMET DE LA BARRE en avant de la tête du môle de Portugalète	PROFONDEUR D'EAU SUR LA BARRE en basse mer équinoxiale dans la ligne de plus grande profondr		en marées de vive eau	en toutes marées	
	Longueur en Mtr.	*Longueur en Mtr.*	*Mètres*	*Mètres*		*Tonnes*	*Tonnes*	
1878—1881	Période des Études		400 à 600	1.10 à 1.40	La profondeur de **1** *m* d'eau n'existait dans la barre que sur une largeur de 70 à 80 *m*.	1400 à 1500	800	La barre, comptée entre les points où la profondeur d'eau atteint 4 *m*, a environ **500** *m* de largeur. Les navires tirant **11** pieds osent seuls franchir la barre.
1882 (30 juin)	350	90	500 à 600	1.60	La profondeur de **1** *m* d'eau existe déjà sur plus de 150 *m*.	2200	1000	La largeur de la barre reste la même. Elle est abaissée de **60** *cm*. A la fin de l'année il sort des navires de 18 ½ pieds par marée de vive eau.
1883 —	594	186	600	3.28	La profondeur de **2** *m* d'eau existe sur plus de 150 *m*; la profondeur de **3** *m* sur 75 *m*.	2500	1500	La largeur de la barre, comptée entre les points où la profondeur atteint 4 *m*, est réduite à **200** *m*. La barre est abaissée de plus de **2** *m*.
1884 —	800	400	600	4.15	La profondeur de **3** *m* d'eau existe sur 100 *m*; la profondeur de **4** *m* sur 20 à 30 *m*.	2700		La barre est *partout* abaissée à plus de **4** *m* en-dessous des basses mers équinoxiales. Les navires tirant **18** pieds anglais franchissent la barre en toute marée. Des navires (**21** pieds anglais) passent en marée de vive eau en charge.
1885 —	850	600	200	4.18 à 4.25	Pas de changement.	2900		La situation acquise se maintient.
1886 —	850	675	50	4.55	Pas de changement.	3100		La barre est partout abaissée à plus de **4** *m* **50** en dessous des basses mers équinoxiales.
1887 —	850	775	•	4.55	Pas de changement.	3200		La barre n'est plus représentée suivant l'axe du chenal que par un relèvement général de 70 à 80 *cm* au-dessus du fond de la rivière en face de la tête de l'ancien môle de Portugalète. Il y a partout 4 *m* 50 d'eau en basse mer équinoxiale et plus de 7 *m* en haute mer minima de morte eau.

TABLEAU N° VII.

Résumé général du mouvement du port de Bilbao.

ANNÉES	SORTIE					ENTRÉE					TOTAL GÉNÉRAL DU MOUVEMENT DU PORT
	MINERAIS			PRODUITS DIVERS	TOTAL DES SORTIES	CHARBON			PRODUITS DIVERS	TOTAL DES ENTRÉES	
	EXPORTATION	CABOTAGE	TOTAL	TOTAL		IMPORTATION	CABOTAGE	TOTAL	TOTAL		
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1er juil. 78-30 juin 79	»	»	»	»	1.195.422	»	»	»	»	144.977	1.340.399
» 1879— » 1880	1.689.575	46.942	1.736.517	55.434	1.791.951	75.007	20.048	95.115	114.778	209.893	2.001.844
» 1880— » 1881	2.444.587	48.431	2.493.018	98.642	2.591.660	105.195	22.583	127.778	124.922	252.700	2.844.360
» 1881— » 1882	2.807.358	44.346	2.851.704	82.609	2.934.313	113.605	18.022	131.627	116.283	247.910	3.182.223
» 1882— » 1883	3.626.968	45.167	3.672.135	81.422	3.753.557	171.943	16.209	188.152	155.394	343.546	4.097.103
» 1883— » 1884	3.445.230	49.928	3 495.158	90.310	5.585.468	178.187	17.357	195.545	162.421	357.967	3.943.435
» 1884— » 1885	3.064.846	37.304	3.102.150	94.003	3.196.153	206.950	16.250	223.201	160.330	383.531	3.579.684
» 1885— » 1886	3.284.710	25.226	3.309.936	124.152	3.434.088	266.716	13.502	280.218	151.122	431.340	3.865.429
» 1886— » 1887	3.732.269	30.736	3.763.005	158.159	3.921.164	276.768	17.261	294.029	179.241	473.270	4.394.434

TABLEAU N° VIII.

Analyses des minerais de Bilbao.

I° D'APRÈS LA SOCIÉTÉ FRANCO-BELGE DES MINES DE SOMORROSTRO.

	VENA	RUBIO	CAMPANIL	CARBONATE DE FER CRU	CARBONATE DE FER GRILLÉ
Perte au feu	3.90	7.17	9.60	36.28	7.70
Silice	1.05	11.30	6.00	2.70	3.60
Alumine	0.15	2.07	0.83	»	»
Chaux	1.00	0.30	3.00	2.87	1.17
Magnésie	0.20	»	1.70	3.21	4.26
Protoxyde de fer	traces	»	»	50.18	»
Peroxyde de fer	90.70	77.33	73.86	3.31	81.82
Protoxyde de manganèse	1.30	»	»	1.00	»
Oxyde rouge de manganèse	»	1.34	1.11	»	1.44
Pyrite de fer	»	»	traces	0.45	traces
Acide phosphorique	traces	traces	traces	»	»
TOTAL	100.335	99.71	100.00	100.00	100.00
Fer métallique	64.35	54.11	53.10	42.96	56.27
Manganèse métallique	1.05	1.14	0.68	0.77	1.03

II° D'APRÈS LA ORCONERA IRON ORE COMPANY LIMITED.

	HÉMATITE ROUGE	HÉMATITE BRUNE	
		RUBIO	
	CAMPANIL	ORCONERA	CONCHA
Peroxyde de fer	78.02	79.96	78.20
Alumine	0.21	1.44	1.15
Peroxyde de manganèse	0.86	0.70	0.74
Chaux	3.61	1.00	0.50
Magnésie	1.65	0.55	0.02
Silice	5.91	8.10	8.80
Acide sulfurique	0.04	0.10	0.05
Soufre	traces	0.05	0.04
Acide phosphorique	0.03	0.03	0.02
Acide carbonique	5.00	»	»
Eau combinée	4.60	8.25	10.35
TOTAL	99.61	100.18	100.16
Fer métallique	54.62	55.97	54.80

TABLEAU N° IX.

Production, exportation et consommation des minerais de fer de la région de Bilbao.

ANNÉES	MINERAIS DE BILBAO				MINERAIS DE LA RÉGION		
	EXPORTATION A L'ÉTRANGER	EXPORTATION PAR CABOTAGE	CONSOMMATION LOCALE	PRODUCTION TOTALE	EXPORTATION DE DICIDO	EXPORTATION DE SALTACABALLO	EXPORTATION DE EN POVEÑA
1860	»	»	»	69.816**	»	»	»
1861	»	»	»	54.869**	»	»	»
1862	»	»	»	70.460**	»	»	»
1863	»	»	»	70.720**	»	»	»
1864	»	»	»	120.470**	»	»	»
1865	»	»	»	102.360**	»	»	»
1866	»	»	»	89.912**	»	»	»
1867	»	»	»	136.075**	»	»	»
1868	»	»	»	154.120**	»	»	»
1869	»	»	»	161.800**	»	»	»
1870	»	»	»	250.337**	»	»	»
1871	»	»	»	403.142**	»	»	»
1872	»	»	»	402.000**	»	»	»
1873	»	»	»	365.340**	»	»	»
1874	»	»	»	10.821**	»	»	»
1875	»	»	»	34.296**	»	»	»
1876	»	»	»	432.418**	»	»	»
1877	»	»	»	1.040.264**	»	»	»
1878	1.224.730*	30.525*	»	1.305.656**	»	»	»
1879	1.117.836*	42.412*	»	1.262.671**	»	»	»
1880	2.345.598*	45.134*	»	2.683.627**	23.268*	»	27.335*
1881	2.500.532*	50.017*	»	2.620.626**	34.490*	»	32.543*
1882	3.692.542*	44.634*	»	3.855.000**	35.723*	»	34.911*
1883	3.378.234*	49.953*	»	3.627.752**	51.460*	»	25.565*
1884	3.155.432*	41.116*	»	3.216.321**	69.710*	»	17.945*
1885	3.295.982*	34.568*	»	3.311.419**	78.780*	»	15.833*
1886	3.160 047*	25.181*	315.102*	3.500.330*	87.881*	»	22.725*
1887	4.170.422*	28.274*	354 408*	4.553.404*	149.206*	46.317*	33.284*
1888	3.591.637*	39.956*	413.902*	4.045.495*	179.611*	106.593*	34.370*

(*) *Chiffres donnés par la Chambre de commerce dans le Bilbao Maritimo y Commercial (8 janvier 1889).*
(**) *Chiffres publiés par M. l'Ingénieur en chef des mines de Urubuvu.*

TABLEAU N° X.

Destination des Exportations de Minerais de Bilbao.

	1878	1879	1880	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888
Angleterre	856.038	692.972	1.577.898	1.467.005	2.071.598	1.969.974	1.630.193	1.645.132	1.801.926	2.374.674	2.017.719
Écosse	47.445	42.474	110.591	246.634	378.933	344.989	360.800	450.053	349.211	480.993	463.616
Hollande (Allemagne)	104.683	123.571	299.126	360.619	703.213	546.666	601.414	653.919	535.028	707.394	644.235
Belgique	59.943	37.781	78.123	72.762	73.408	49.767	102.541	93.489	98.442	98.304	103.602
France	150.779	203.621	245.011	335.976	450.436	460.595	458.225	491.085	332.103	356.980	347.687
États-Unis	5.840	17.420	34.849	17.536	14.954	6.246	2.259	7.304	42.337	152.077	14.778
TOTAL	1.224.730	1.117.836	2.345.598	2.500.532	3.692.542	3.378.234	3.155.432	3.295.982	3.160.047	4.170.422	3.591.637

Répartition pour Cent des Exportations entre les différents Pays.

	1878	1879	1880	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888
Angleterre	69.8	62.0	67.3	58.7	56.1	58.3	51.7	49.9	57.0	56.9	56.2
Écosse	3.9	3.8	4.7	9.9	10.2	10.2	11.4	12.3	11.0	11.5	12.9
Hollande (Allemagne)	8.5	11.2	12.7	14.4	19.1	16.2	19.1	19.9	17.0	17.0	17.9
Belgique	4.9	3.4	3.3	2.9	2.0	1.5	3.2	2.8	3.1	2.4	2.9
France	12.4	18.1	10.5	13.4	12.2	13.6	14.5	14.9	10.5	8.6	9.7
États-Unis	0.5	1.5	1.5	0.7	0.4	0.2	0.1	0.2	1.4	3.6	0.4
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

TABLEAU N° XI.

ANNÉES	CHEMINS DE FER MINIERS DE BILBAO — Minerais transportés de 1865 à 1888					PROVINCE DE BILBAO — Minerais embarqués aux Ports de :		
	Triano Chⁿ de fer de la Députation de la Biscaye	Bilbao River and Cantabrian Railway Cᵒ Limᵈ	Orconera Iron Ore Cᵒ Limited	Société Franco-Belge des mines de Somorrostro	Luchana Mining Cᵒ	Dicido (Castro)	Salta-Caballo	Poveña
	Triano à San Nicolas	Galdamès à Sestao	Orconera à Luchana	Cadigal à Luchana	Begato à Luchana	Dicido Iron Ore Cᵒ	Compᵃ Minera de Setares	J. Mac Lennan
	Tonnes	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*
1865	10.815 (1)	»	»	»	»	»	»	»
1866	22.312	»	»	»	»	»	»	»
1867	31.492	»	»	»	»	»	»	»
1868	28.574	»	»	»	»	»	»	»
1869	24.833	»	»	»	»	»	»	»
1870	49.597	»	»	»	»	»	»	»
1871	89.897	»	»	»	»	»	»	»
1872	106.133	»	»	»	»	»	»	»
1873	94.955 (2)	»	»	»	»	»	»	»
1874	»	»	»	»	»	»	»	»
1875	»	»	»	»	»	»	»	»
1876	312.655 (3)	101.943 (4)	»	»	»	»	»	»
1877	524.238	343.207	37.283 (5)	»	»	»	»	»
1878	484.182	400.089	274.758	»	»	»	»	»
1879	388.817	334.039	431.091	»	»	»	»	»
1880	947.779	548.123	682.072	142.592 (6)	»	23.268	»	27.335
1881	1.161.025	450.357	740.264	116.991	»	34.490	»	33.543
1882	1.639.027	640.235	937.751	252.959	»	35.723	»	34.941
1883	1.498.851	611.990	1.016.591	341.508	»	53.460	»	25.565
1884	1.200.502	613.229	968.122	399.903	»	69.740	»	17.915
1885	1.255.441	675.757	1.054.921	470.130	»	78.780	»	15.833
1886	1.279.825	611.670	1.031.633	478.180	»	87.881	»	22.721
1887	1.734.306	898.529	1.056.261	541.902	120.741 (7)	149.206	46.317	33.284
1888	1.298.824	907.958	936.588	543.388	144.258	179.611	108.595	34.370

(1) Ouverture de l'exploitation le 26 juin 1865. — (2) Suspension de l'exploitation le 16 août 1873 par suite de la guerre carliste. — (3) Reprise de l'exploitation le 14 Février 1876 par suite de la fin de la guerre carliste. — (4) Ouverture de l'exploitation le 8 mai 1876. — (5) Ouverture de l'exploitation le 21 août 1877. — (6) Ouverture de l'exploitation le 14 juillet 1880. — (7) Ouverture de l'exploitation le 17 janvier 1887.

BIBLIOGRAPHIE

Barcelone. — *Descripcion fisica, geologica, e Minera de la Provincia de Barcelona*, por D. JOSE MAURETA et D. SILVINO THOS-Y-CODINA, dans les Memorias de la Comision del Mapa geologica de España, 1881.

Memoria sobre el estado y adelanto de las *Obras del Puerto* de Barcelona, durante los annos economicos 1878-1879, 1879-1880, 1880-1881, 1881-1886.

Memoria (saneamiento de las poblaciones, condiciones higienicas de la urbe.....), por D. PEDRO GARCIA FARIA, 1885.

Bilbao. — *Reconocimiento geologico del Señorio de Vizcaya*, por D. CARLOS COLLETTE, Bilbao 1848.

Apuntes geologicos acerca del Criadero de Hierro de Somorrostro en la Provincia de Viscaya, por D. RAMON ADAM DE YARZA, dans le Boletin de la Comision del Mapa geologico de España, t. IV, 1877.

Les Mines de Somorrostro, par E. BOURSON, Revue Universelle de Liège, t. IV, 2e série, 1878.

Note sur les mines de fer de Bilbao, par Baills, Annales des Mines, 7e série, t. XV, 1879.

Étude sur les phénomènes métallifères, par S. CZYSKOWSKI, Bulletin de l'Industrie Minérale, 2e série, t. XIII, 1884.

The Iron Ore district of Bilbao, por WILLIAM GILL, directeur de la Co d'Orconera dans The Journal of the Iron and Steel Institute, 1882, no 1.

El Hierro de Viscaya, por IGNACIO GOENAGA, dans la Revista Minera y Metallurgica, 1883.

Mines de fer de Bilbao, par M. POURCEL, Génie civil, t. XI, 1887.

Note sulle Miniere di Somorrostro, por G. GANDOLFI, dans l'Ingegneria civile, etc... de Turin, t. XIII, no 9 à 12, 1887.

L'Etat actuel des mines de fer de Bilbao, par A. HABETS, Revue Universelle de Liège, 3e série, t. IV, no 1, 1888.

Les Mines de Somorrostro, par G. GANDOLFI, Revue Universelle de Liège, 3e série, t. IV, 1888, nos 1 et 2.

Memoria que manifiesta el estado y progreso de las obras de Mejora de la Ria de Bilbao, por D. EVARISTO DE CHURRUCA, mémoires annuels avec plans de 1880 à 1888.

TABLE DES TABLEAUX

TABLE DES PLANCHES

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

Barcelone.

Bilbao.

NOTE

SUR

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

DE LA VILLE DE MILAN

PAR

M. E. POLONCEAU

La construction de la station centrale d'électricité de Milan fut décidée vers la moitié de 1882 par un comité qui, depuis, est devenu la Société Générale Italienne d'Électricité, système Edison.

La Société acheta l'immeuble situé rue de Sainte-Radegonde, où se trouvait l'ancien théâtre dit de Sainte-Radegonde.

La construction de la station centrale fut commencée en octobre 1882.

En juin 1883, la station commença à fonctionner régulièrement jusqu'à une heure du matin, avec une moyenne de 1 100 lampes, y compris le théâtre Manzoni.

On ajouta deux machines pour éclairer en novembre 1883 le théâtre de la Scala.

A la fin de 1884, la station alimentait 5 500 lampes équivalant à 4 700 lampes normales de 16 bougies.

Les chaudières, du type Babcock et Wilcox, étaient au nombre de 5, de 164 chevaux chacune.

En février 1886, l'usine possédait 6 de ces chaudières, et un économisateur Green, pour l'échauffement de l'eau d'alimentation, et l'usine s'était accrue de 2 dynamos du premier type, soit 8 dynamos type C, sans compter une dynamo de 400 lampes pour le service de nuit et de jour, depuis la fermeture des théâtres jusqu'à l'après-midi des jours suivants, bien entendu quand le nombre des lampes allumées reste inférieur à celui de la dynamo.

Actuellement l'usine contient : 10 dynamos Edison, type C, de 1 000 lampes à incandescence chacune, avec moteur adhérent de 125 chevaux;

4 dynamos Thompson-Houston de 30 lampes à arc chacune, avec 2 moteurs de 40 chevaux et transmission par courroie ;

2 dynamos à courants alternatifs (système Ganz) de 1 000 lampes à incandescence chacune, pour l'éclairage des théâtres Dal Verme et Fossati, et leurs environs, situés l'un à 1 200, l'autre à 2 100 *m* de l'usine.

Ces deux dynamos sont à moteur adhérent de 150 chevaux. Elles ont remplacé la machine de 400 lampes mentionnée plus haut. Mais prochainement, on installera, pour faire le même service, 2 dynamos de 200 ampères au premier étage.

Nous allons décrire successivement :

1° L'usine centrale de Sainte-Radegonde ;

2° Le réseau des conducteurs.

1° Usine Centrale de Sainte-Radegonde.

Le bâtiment occupe un espace à peu près rectangulaire entre les rues de l'Agnello et de Sainte-Radegonde. Il est à 3 étages et mesure 49,30 *m* de longueur, 14,20 *m* de largeur. (Pl. 198.)

Les figures 1, 2 et 3 représentent les plans des salles de chaudières et de machines et la coupe verticale des bâtiments.

Salle des machines. — Elle occupe tout le rez-de-chaussée. Ce choix a été motivé par des considérations de stabilité, à cause de la grande vitesse des machines.

Les 10 machines type C sont disposées sur une seule ligne, faisant face à l'un des murs longitudinaux par leurs commutateurs ou collecteurs de courant, et à une ligne de colonnes en fonte, qui s'étend sur toute la longueur de la salle, par leurs moteurs.

Les machines reposent sur des massifs de maçonnerie reliés entre eux par des voûtes, ce qui laisse au-dessous du plancher l'espace nécessaire pour les tuyaux de conduite d'air et d'eau qui servent au refroidissement des armatures et des paliers.

Maintenant il y a 10 dynamos du type C. La neuvième dynamo a été installée au commencement de 1887, et la dixième a été installée en novembre. Il y a, en outre, 4 dynamos Thompson-Houston et 2 dynamos Ganz qui ne sont pas figurées sur le plan.

Les 10 premières machines sont du type connu sous la désignation « Machine Edison C, » dont voici les données :

Courant maximum (à 110 volts). .	800	ampères.
Force électro-motrice aux bornes.	110 à 120	volts.

Résistance de l'armature.	0,0039	ohms.
— des inducteurs	2,28	—
Diamètre de l'armature	2,737	*m*
Longueur de —	1,630	*m*
Nombre des aimants inducteurs. .	12	

Ces machines sont à moteur adhérent : chaque machine a donc son moteur. La machine et le moteur ont le même arbre qui tourne à 350 tours à la minute.

Deux des machines motrices sont du système « Porter Allen » et les autres du type « Armington et Sims ».

Elles peuvent toutes développer à 8 *kg* une force normale de 125 et maximum de 150 chevaux correspondant à la charge de 1 000 lampes de 16 bougies par dynamo.

Elles reçoivent la vapeur d'une conduite générale installée sur la ligne des colonnes.

Dans un local voisin est installé un petit moteur actionnant un ventilateur pour l'aération des armatures des dynamos, et une pompe à vapeur qui envoie un courant d'eau froide dans l'intérieur des paliers.

Ces moyens de refroidissement ne sont nécessaires que lorsque les machines développent leur maximum de travail.

Toutes les dynamos sont accouplées en quantité sur deux conducteurs principaux de 1 700 mm^2 de section, disposés sur la paroi vis-à-vis des collecteurs, aux balais desquels ils sont réunis par de grosses tresses flexibles de cuivre.

L'attache aux conducteurs est faite au moyen d'un interrupteur à coins de cuivre; à côté de l'interrupteur sont placées les attaches avec le circuit des régulateurs et avec le circuit d'essai. Les conducteurs principaux aboutissent, aux coins opposés de la salle, aux conduites souterraines d'alimentation du réseau.

Les régulateurs de courant, qui sont en nombre égal à celui des machines, sont formés de 50 bobines pour chaque régulateur, accouplées de façon à intercaler dans le circuit inducteur de chaque dynamo une résistance variable de 1/18 d'ohm jusqu'à 7 1/2 ohms en tout.

Le réglage est fait à la main, soit pour une ou plusieurs dynamos, soit pour l'ensemble, au moyen d'un arbre commun qui commande un bras de contact, mobile sur chacun des six cadrans des régulateurs, ayant 57 touches, ou degrés de réglage, chacun.

Deux indicateurs de force électro-motrice à sonnerie d'alarme et deux voltmètres à cadran servent au personnel chargé de la

manœuvre du réglage. On les règle à l'aide d'un voltmètre-étalon gradué au moyen d'une pile-étalon Daniell et d'un galvanomètre Thompson à réflexion.

De cette façon, le courant est toujours réglé immédiatement, quelles que soient les variations dans le débit du réseau, sans qu'il y ait la moindre oscillation de lumière chez les consommateurs et sans besoin de communication ou d'avis entre la station et les différents points du réseau, même importants, tels que le théâtre de la Scala, où les lampes s'allument ou s'éteignent par centaines à la fois, et instantanément, pour les effets de scène.

Un circuit intérieur, dit d'essai, est disposé de façon à pouvoir être parcouru par le courant de chaque dynamo. Sur ce circuit sont intercalées 1 000 lampes, autant qu'on en fait porter à une machine à son maximum de travail en service normal. Ces 1 000 lampes sont réunies sur un tableau muni d'interrupteurs pour pouvoir les allumer par 50 à la fois, et elles servent aux manœuvres de changement et substitution de machines, à l'introduction d'une dynamo dans le circuit du réseau ou au débrayage d'une machine.

A l'attache des deux conducteurs principaux et des conducteurs d'alimentation du réseau sont intercalés les régulateurs d'alimentation destinés à égaliser la force électro-motrice dans les différents points du réseau, pour assurer l'égalité d'intensité de la lumière chez tous les consommateurs.

Là aussi se trouvent les ampèremètres destinés à mesurer constamment l'intensité du courant du réseau et, par là, le nombre de lampes desservies. On relève l'indication des ampèremètres à chaque quart d'heure, autant pour enregistrer la marche du travail journalier que pour régler la marche des machines en mouvement.

Cette salle comporte en outre plusieurs instruments et appareils complétant les diverses mesures dont on a besoin.

Chaudières. — Les chaudières sont au nombre de 9. Elles sont du type Babcock et Wilcox et ont les données principales suivantes :

Nombre des tubes.	96
— réservoirs collecteurs.	2
Longueur des tubes	4,900 *m*
— réservoirs	5,05 *m*

Surface de grille	4,500 m^2
— chauffe	170 m^2
Force en chevaux	160
Poids total de la chaudière	19 250 *kg*
Surface occupée.	20,16 m^2

Les chaudières sont suspendues à des poutres en fer portées par des piliers en fer à T qui s'appuient sur les colonnes en fonte du rez-de-chaussée, ainsi qu'on le voit sur le dessin donnant la coupe transversale de l'usine.

Organisation du service.

La direction est confiée à un électricien en chef ayant sous ses ordres :

Un ou deux ingénieurs;
Un chef mécanicien;
Un contremaître électricien;
Un Id. mécanicien;
Un Id. chauffeur.
Des ouvriers électriciens, aux commutateurs, des ouvriers mécaniciens et chauffeurs.

II. Réseau des conducteurs.

L'usine de Sainte-Radegonde se trouve dans une position centrale rayonnant de 500 à 600 *m* dans toutes les directions et de 1 200 *m* et au delà, jusqu'à 2 200 *m* pour les théâtres Dal Verme et Fossati, la via Torino et le cours Victor-Emmanuel. (Pl. 198.)

Les lignes noires de la figure 4 représentent les conducteurs d'alimentation (feeders); les lignes pointillées, les conducteurs de distribution (mains).

Les carrés noirs représentent les boites de jonction des feeders et des mains. Les carrés pointillés représentent les boîtes de jonction des mains entre eux. Chaque ligne, continue ou pointillée, comprend deux conducteurs.

En admettant l'emploi du même type de lampe sur tout le réseau, l'établissement d'une conduite d'éclairage électrique se fait de la façon suivante :

Les chutes de potentiel entre les deux pôles, en deux points quelconques du réseau, ne doivent pas différer de beaucoup entre elles, car on aurait des différences dans l'intensité lumineuse des lampes, selon leur position relativement à l'usine.

Il suffit d'une différence de 1 volt dans la force électro-motrice pour qu'une lampe Edison normale tombe de 16 bougies à 15.

Pour éviter que la plus grande différence de force électro-motrice disponible en deux points du réseau ne dépasse pas 1 1/2 à 2 0/0, il faut diviser le réseau en deux parties : le réseau proprement dit, entièrement fermé et isolé de l'usine; et un faisceau d'alimentation qui, partant de l'usine, porte le courant au réseau en des points convenablement choisis : ce dernier est figuré en traits noirs sur la figure 4.

Les divers conducteurs sont reliés entre eux par des boîtes de jonction, où les joints sont faits par des coupe-circuits en plomb, calculés de façon à interrompre le passage du courant toutes les fois que le débit devient anormal et menace de chauffer les conducteurs au delà de la limite possible.

Des regards ménagés sur les boîtes de jonction des conduites de distribution et d'alimentation et affleurant le pavé de la rue, permettent d'examiner de temps en temps l'état des joints et de faire différentes observations au moyen du galvanomètre.

Les tubes composant le réseau de distribution sont enfoncés sous le pavé entre 60 et 90 *cm*; ils sont du n° 4 et comprennent deux barres de cuivre de 93 *mm*² de section et de 6 *m* de longueur.

Les joints sont faits par des arcs en cuivre dans des boîtes en fonte remplies de matières isolantes.

Les prises de courant pour les consommateurs sont faites au moyen de boîtes spéciales dont on fait partir soit un tube plus petit (n° 5, 6 ou 7), soit un câble sous plomb qui entre chez le consommateur et se subdivise ensuite.

Les conducteurs d'alimentation suivent les rues dans les mêmes conditions. Ce sont de gros tubes des n° 1 1/2 et 2, ayant des barres de 589 et 443 *mm*² de section.

Dans le courant de 1885, on essaya à Milan l'éclairage à arc par lampes Siemens placées en dérivation sur le réseau, à l'aide d'une boîte de résistance. Cet essai réussit assez bien, surtout pour l'éclairage particulier. Mais comme la Ville demandait des lampes plus puissantes et voulait étendre l'éclairage public jusqu'aux portes de la ville sur quelques artères principales, on adopta pour l'éclairage public le système Thompson-Houston avec des lampes à arc de 10 ampères montées en tension. Deux groupes de machines, dont chacun se compose d'une machine à vapeur et de deux dynamos Thompson-Houston de 30 lampes, sont affectés à ce service. On dispose avec cela de 120 lampes à arcs, pour lesquelles la distribution du courant se fait par un réseau de conducteurs aériens.

Pour le service à arc des particuliers, on emploie de préférence les lampes en dérivation du système Siemens, mais on fait usage aussi de quelques lampes Thompson-Houston.

La liste suivante donne la distribution des lampes installées au commencement de 1887. (Fig. 4 et 5) :

	LAMPES A INCANDESCENCE	LAMPES A ARC
Éclairage public des rues. .	»	75
Hôtel de Ville	196	»
Théâtres.	3.200	43
Hôtels.	1.300	»
Cercles	350	»
Restaurants	360	11
Boutiques	1.543	20
Imprimeries	405	»
Banques	910	»
Maisons particulières . . .	171	»
Usine centrale	118	»
Cathédrale.	150	»
TOTAL.	9.203	149

A la fin de 1887, la Société avait 11 010 lampes à incandescence et 218 à arc, à cause du développement de l'éclairage public et particulier; et aussi à cause de l'addition de 4 théâtres aux 3 qu'elle avait éclairés dès le début; ce qui fait 7 théâtres dont 3 sont compris dans le réseau à courant continu.

A la suite des nouveaux règlements sur les théâtres, la Société a dû installer 2 dynamos spéciales pour les théâtres Dal Verme et Fossati, puisque ces deux théâtres sont situés à 1 200 et 2 100 *m* de l'usine.

La Société s'est servie pour cela de générateurs secondaires Zipernowski, Dery, Blathy, fabriqués par la maison Ganz, de Buda-Pesth.

Ces dynamos sont des machines à courants alternatifs de 1 800 volts et 30 ampères. Les conducteurs sont de petite dimension; leur isolation est complète, et ils arrivent sous terre aux théâtres, où les appareils Zipernoswki transforment ce courant de haute tension en courant de basse tension et de grande intensité, puisqu'ils donnent 100 volts et 300 ampères.

Le « Transformateur » a pour but de transformer un courant de haute tension et de faible intensité en un courant de grande intensité et de faible tension.

Par cela même, ce courant secondaire sera très propre à alimenter un grand nombre de lampes à incandescence ou à arc. Par suite de la grande tension, le courant d'origine peut être transmis par des fils ordinaires de télégraphe, sans perte de charge notable, mais leur contact est dangereux alors que le circuit de distribution, après passage par les transformateurs, peut être touché sans danger.

Ce transformateur est composé de la façon suivante : Un anneau bobine, composé d'un grand nombre de tours d'un fil de cuivre de petit diamètre, reçoit le courant alternatif de la machine ; parallèlement à ce fil, est enroulé un fil de cuivre plus gros et présentant moins de tours. Il se produit dans ce dernier anneau un courant induit également alternatif qui alimente les lampes. Le tout est garni extérieurement et intérieurement par une bobine en fil de fer enroulé en sens inverse du fil de cuivre. Ce fil de fer est isolé par un mastic. Il est aimanté et désaimanté par les alternances du courant de la machine ; cette action magnétique produit un courant secondaire très intense dans le gros fil.

Les tensions des deux courants sont proportionnelles au nombre des spires, alors que les intensités sont inversement proportionnelles.

L'appareil a la forme d'une sphère de 300 *mm* de diamètre environ pour un courant initial de 1 300 volts.

Le cours Victor-Emmanuel et la Via Torino, qui sont à une grande distance de la station centrale (c'est-à-dire que leur extrémité est à 2 000-2 500 mètres de l'usine), sont éclairées par la même Société, au moyen du système Thompson-Houston. Les dynamos sont à courant continu. Elles donnent 1 500 volts et un peu plus de 10 ampères. Elles font marcher en série 30 lampes à arc du même système, qui donnent chacune 2 000 bougies. Ces lampes sont suspendues au milieu de la voie, à la hauteur d'un deuxième étage. Ces lampes remplacent avantageusement les becs de gaz qui s'y trouvaient et donnent 10 fois plus de lumière, en coûtant à la ville environ 25 0/0 de plus que le gaz. Les conducteurs sont aériens et recouverts de gutta-percha.

La dynamo Thompson-Houston est autorégulatrice, et sur 30 lampes, on peut en éteindre 29 sans que la 30e dénote la moindre déviation dans son fonctionnement. Il y a 4 dynamos de ce type, pour l'éclairage des rues suivantes :

Rue Manzoni ;

Cours Prince-Humbert jusqu'à la gare ;

Cours Victor-Emmanuel ;
Via Torino ;
Cours Genova ;
Place du Dôme ;
Place du Théâtre-de-la-Scala ;
Rue Charles-Albert ;
Galerie Victor-Emmanuel.

La Compagnie du Gaz, à la suite d'un nouveau contrat avec la ville, ayant renoncé à son droit de préférence, la ville étendra l'éclairage électrique à d'autres rues principales, telles que Corso Porta-Romana, Corso Porta-Tixinese, Corso Garibaldi, rue Monte-Napoleone, etc. Pour cela, la Société installera tout de suite deux autres dynamos Tompson-Houston, et une autre paire de dynamos dans le courant de l'année.

La municipalité de Milan paie à la Société Edison pour l'èclairage de la galerie Victor-Emmanuel 1 000 livres par an par lampe brûlant jusqu'à minuit et 1 700 par lampe brûlant iusqu'au matin ; et pour l'éclairage des autres rues et places, 800 par lampe brûlant jusqu'à minuit, et 1 400 par lampe brûlant jusqu'au matin.

Le tarif établi dès le début de l'exploitation et qui fut très longtemps maintenu, est basé sur la lampe normale de 16 bougies.

Constante annuelle par ampère : 45 *f* (ou 35 *f* par lampe de 16 bougies).

Tarif de consommation : par ampère-heure, 0,0533.

Par lampe de 16 bougies-heure, 0,04.

Pour les lampes de 100, 32, 10 et 8 bougies la constante et le tarif de consommation sont variés proportionnellement à l'intensité du courant que chacune d'elles dépense.

Il sera bon d'observer que 60 0/0 environ des lampes installées sont des lampes de 10 bougies (dont la lumière égale à peu près celle d'un bec à gaz de 120 litres). Les lampes de 16 bougies forment environ 30 0/0, et le reste se compose de lampes de 8 et 32 bougies.

Des forfaits avaient été calculés d'abord d'après ces éléments et ont servi de base à beaucoup de contrats.

Mais la Compagnie actuellement a adopté le compteur Edison à électrolyse sur une grande échelle, et au fur et à mesure que les anciens contrats arrivent à leur terme, on les renouvelle sur la base du compteur.

Actuellement, les tarifs varient suivant que le consommateur accepte ou non de payer une taxe annuelle fixe.

Dans le premier cas, ils sont établis de la façon suivante :

	TAXE ANNUELLE CONSTANTE		A L'HEURE
Pour 1 ampère	*f* 45 »	centimes	5 5
1 lampe de 10 bougies. .	*f* 25 50	»	2 66
1 » de 16 » . .	*f* 35 »	»	4 »

Les lampes de 10 et 16 bougies absorbent respectivement 0,5 et 0,75 d'ampère.

La taxe fixe se paye en 12 fois au commencement de chaque mois.

Lorsque cette taxe n'existe pas, les tarifs varient suivant le nombre d'heures d'éclairage par lampe et par mois ; ils sont en centimes et par heure.

	AU-DESSOUS de 41 heures	de 41 à 80	de 81 à 100	de 101 à 125	de 126 à 150	AU-DESSUS de 150 heures
Pour 1 ampère	12	11	10	9	8	7 5
Pour 1 lampe de 10 bougies. . . .	16	5 5	5	4 5	4	3 75
Pour 1 lampe de 16 bougies. . . .	19	8 25	7 5	6 75	6	5 6

Les compteurs sont loués par an au prix de :

6 lires par compteur de 50 lampes ;
9 » » 51 à 100 ;
12 » » 101 et au-dessus.

La Société prend à sa charge le renouvellement des lampes cassées par usure.

Le prix de l'ampère-heure indiqué sur le 1er tarif des lampes à incandescence est appliqué aux lampes à arc, mais la taxe annuelle est portée à 50 ou 25 lires, suivant la puissance lumineuse de la lampe.

NOTE

SUR

LES CABLES TÉLODYNAMIQUES

PAR

M. E. POLONCEAU

Le travail très approfondi, communiqué à la séance du 18 janvier de la Société des Ingénieurs civils par un de ses anciens présidents, M. Brull, sur l'application d'un nouveau système de traction par câbles qui a été expérimenté sur le canal de Saint-Maurice, par M. l'ingénieur en chef des mines, Maurice Lévy, a donné lieu à une discussion des plus intéressantes au sujet des câbles télodynamiques.

Ce rapport fait nettement ressortir toute l'importance qui s'attache à une construction raisonnée des câbles, qui est l'âme du système tant au point de vue du fonctionnement qu'à celui de l'opportunité de l'application, puisque la durée plus ou moins grande du câble doit être la base de l'économie plus ou moins considérable à réaliser par ce mode de transport.

Il est indispensable que le câble puisse résister longtemps dans de bonnes conditions aux déformations qui résultent des efforts de traction continus et périodiques et de l'enroulement sur les poulies.

Ayant eu l'occasion de faire étudier cette question des câbles pour les appareils assez nombreux auxquels ils sont appliqués dans les Compagnies de chemins de fer (appareils de levage et de manœuvre, transmissions, prolonges, etc...), je crois devoir faire connaître quels ont été les résultats d'une longue expérience, en ajoutant quelques observations qui viendront, du reste, corroborer les opinions émises par MM. Brull et Contamin, au sujet de la durée des câbles et de la résistance que l'on peut faire pratiquement supporter aux fils en toute sécurité.

Les grues qui servent au levage des locomotives dans les dépôts et dans certains ateliers sont, comme vous le savez, des engins à

treuil pouvant soulever une locomotive par un des bouts, c'est-à-dire un poids de 20 à 24 *t*. Habituellement la moufle se compose de 4 brins de chaîne à maillons ; chaque brin a donc à supporter de 5 à 6 *t*; les chaînes à maillons et même les chaînes de Galles qui ont succédé aux cordages dont l'usure était trop rapide ont le grand inconvénient de présenter, les premières des anneaux mal soudés et les autres des fuseaux pailleux : il peut en résulter des ruptures soudaines et de là des accidents ou avaries inévitables.

Il y a une vingtaine d'années, la Compagnie d'Orléans, en vue de donner toute la sécurité possible aux agents préposés à la manœuvre des grues étudia la substitution des câbles aux chaînes ; on commença par utiliser telles quelles les moufles existantes qui avaient des poulies de 250 et 300 *mm* de diamètre. Ce premier était fait avec un câble composé de fils de 1,5 *mm* de diamètre, ne fut pas économique et le câble fut bientôt hors d'usage malgré toute la souplesse qu'on avait pu lui donner au moyen d'âmes en chanvre ; on dut donc étudier la question plus à fond, augmenter le diamètre des poulies et diminuer le diamètre du fil de manière à ne pas dépasser la limite d'élasticité de la matière.

Voici les résultats auxquels on est arrivé et qui sont aujourd'hui très satisfaisants.

Les dessins (Pl. 199) indiquent l'ancien et le nouveau type de grue créé en 1878, pour assurer le bon fonctionnement du câble.

Ce dernier type comporte des poulies de 600 *mm* de diamètre et un câble de 37 *mm* composé de 7 gros torons comprenant chacun 7 torons moyens ayant eux-mêmes 7 petits torons de 7 fils, soit en tout 2 401 fils d'acier de 0,5 *mm* de diamètre.

Dans ces conditions l'acier travaille pour (1) l'enroulement sous un effort de 16,66 *k* par mm^2 de section, dans la partie la plus fatiguée, et pour l'effort maximum à supporter à une traction de 12,72 *k* par mm^2 de section (2).

Le métal travaille donc au total à $16,66 + 12,72 = 29,38$ *k* par mm^2 de section ; or nous imposons pour les fils d'acier une résistance à la rupture de 120 *k* avec un allongement de 1 1/2 0/0 au

(1) Effort d'enroulement :

$$S = E \frac{\delta}{2R} = 20000 \times \frac{0,5}{2 \times 300} = 16,66.$$

(2) Effort de traction pour 6 *t* par brin :

Section utile d'un brin, 471,56 mm^2 ;

Effort par mm^2, $\frac{6000}{471,56} = 12,72.$

minimum, la resistance élastique est de 70 à 80 *k* par mm^2 pour un allongement de 0,4 0/0 environ.

On peut admettre que les câbles établis dans ces conditions durent 7 années, tandis que des câbles composés de fils de 1,5 *mm* de diamètre et s'enroulant sur des poulies de 250 à 300 *mm* de diamètre ne durent que dix-huit mois environ.

Les câbles de grues ne travaillent pas constamment et cette durée de sept années que nous signalons serait nécessairement réduite si le câble travaillait constamment.

Les câbles que nous employons pour transmissions sont calculés dans des conditions analogues ; nous étudions les diamètres des poulies et des fils de manière à ne pas dépasser un effort de traction de 20 *k* dans la partie la plus fatiguée du câble. C'est là une condition indispensable, et le fait consacré par la pratique est intéressant à signaler au moment où l'emploi des câbles pour les transmissions funiculaires prend de plus en plus d'extension et où une nouvelle application va sans doute en être faite pour le transport des voyageurs de la place de la République à Belleville.

Toutes ces modifications de grues que je viens de vous énumérer ont été exécutées par un de nos collègues, M. Durant, ingénieur du matériel de la Compagnie d'Orléans, adjoint à l'ingénieur en chef.

LA CORRECTION

DES TORRENTS ET DES RIVIÈRES

D'APRÈS LES LOIS DE LA NATURE

PAR

M. SCHINDLER

(Analyse par M. J. MEYER)

Ceux qui ont lu les magnifiques travaux de Surrel sur les torrents des Alpes et de Scipion Gras, liront avec intérêt ce nouveau travail de M. Schindler, qui s'est livré, lui aussi, à une série d'observations sur la formation des torrents et les moyens d'arrêter les dégâts qu'ils occasionnent et de les rendre inoffensifs (1).

Dans cet ouvrage rendu encore plus intéressant par les vignettes et planches en couleur qui l'accompagnent, M. Schindler, commence par décrire l'état normal de ces cours d'eau, de leur bassin de réception, canal d'écoulement et cônes de déjection. Puis, il décrit le commencement des dégradations que produisent les érosions dans les surfaces inclinées de ces bassins de réception, dégradations qui se produisent surtout lorsque ces surfaces ont été déboisées. Il insiste sur la nécessité d'apporter de suite un remède au mal qui commence à se produire, en consolidant sur-le-champ les premières cicatrices qui commencent à se produire, car ces ravines se transforment rapidement en torrents et les matériaux qui en sont arrachés, en se déposant sur le cône de déjection, aggravent aussi le mal dans la partie inférieure et généralement cultivée de ces cours d'eau. Il insiste d'une manière toute particulière sur le maintien des gazonnements et des boisés dans ces hautes régions.

Il se livre ensuite à une critique des systèmes de correction employés, jusqu'ici généralement, et en tout premier lieu de l'emploi exclusif des barrages. Il estime que l'on crée ainsi un état de choses qui ne se rencontre pas dans la nature et n'a qu'un effet

(1) Die Wildbach und Fluss-Verbauung nach den Gesetzen der Natur. Von A. Schindler. Hofer et Burger, imprimeurs-éditeurs à Zurich, 1889.

passager. Il n'admet les barrages que dans les gorges étroites, et lorsqu'on peut les fonder et les épauler latéralement sur le roc.

Au lieu de barrages, il propose de favoriser, dans les bassins de réception, la formation de cônes de déjection légèrement bombés, au moyen de pilotages, qui en déterminent la forme et provoquent le dépôt des matériaux en consolidant et en fixant ces cônes.

Il critique aussi l'usage qui a été fait de rigoles perayées dans les bassins de réception ou cônes creux d'érosion. Ces rigoles ont pour effet d'amener les eaux trop rapidement dans le bassin d'écoulement et de faciliter les inondations.

On a, il est vrai, trop fait des barrages une panacée universelle, le choix de l'emplacement de ceux-ci et les dispositions de leur construction n'ont pas toujours été très heureux; de là, dans bien des cas, des insuccès à enregistrer; faut-il, pour ces insuccès, condamner complètement les barrages ? Ce n'est pas notre avis, pas plus que de considérer comme une panacée universelle le système proposé par M. Schindler. Il y aura toujours des cas où les barrages seront à préférer, comme d'autres cas, où le système de M. Schindler donnera de meilleurs résultats.

Il examine ensuite les cours d'eau dans leur section d'écoulement ou dans le thalweg des vallées, et ceci s'applique plus aux rivières. Il examine et discute les causes de détérioration qui se produisent dans le lit et les berges, et les moyens employés jusqu'ici pour les combattre; moyens qui consistent en revêtements des berges par des perrés fondés, ou sur enrochement ou sur cadres et pilotis, avec seuils ou avec éperons saillants, revêtement de ces travaux en fascinages ou en saucissons de fascines (Gumpenberg). Il signale leur inefficacité et les dégradations auxquelles sont soumis le lit et les berges des cours d'eau ainsi corrigés et digués.

Il établit qu'il faut chercher à aplatir le plus possible l'inclinaison des berges pour diminuer la force de corrosion de l'eau qui tend à les attaquer et, il propose aussi, comme moyens de consolidation des berges et du lit, des pilotages dans l'intervalle desquels on intercale des revêtements en pierre, sorte de pavage retenu par ces pilotages.

Nous croyons aussi qu'on pourrait faire un usage plus fréquent de ces pilotages, mais leur généralisation, pour la canalisation du lit des rivières, doit être très chère, et leur durée n'est pas illimitée. Dans bien des cas, des revêtements en maçonnerie sèche ou perrés, devront leur être préférés comme moins coûteux.

Ce système de M. Schindler a été appliqué avec succès dans

l'Italie du Nord; il est en voie d'application dans ce moment pour la correction de la Birse dans le canton de Bâle-Campagne en Suisse et va recevoir une application plus importante en Autriche. En suite d'un rapport très motivé de MM. Ad. Jordan et Zickler, l'application du système de M. Schindler a été décidée pour la correction et la régularisation du cours de la Vistule supérieure et de ses affluents dans la Silésie autrichienne.

Le livre de M. Schindler sera lu avec intérêt par tous les ingénieurs qui s'occupent de travaux hydrotechniques, ils y trouveront décrites des méthodes de correction et de consolidation qu'ils pourront appliquer avantageusement dans bien des cas particuliers.

CHRONIQUE

N° 110 (1)

SOMMAIRE. — Tirage par cheminées et tirage forcé *(suite et fin)*. — Moteur à ammoniaque. — Moteurs à gaz de grande puissance. — Le procédé Poetsch en Amérique. — Emploi comme combustible des gaz des hauts fourneaux.

Tirage par cheminées et tirage forcé *(suite et fin)*. — On sait que les gaz augmentent de volume de 0,367 par 100 degrés centigrades d'élévation de température; si on suppose que l'air qui remplit la cheminée a sa température brusquement élevée de 200 degrés, son volume de 1 deviendra $1 + (0\ 367 \times 2) = 1\ 734$. La capacité intérieure de la cheminée n'étant pas modifiée, il faudra nécessairement que l'excédent de volume en sorte par le haut.

Le poids d'un mètre cube d'air, étant à la température de zéro de 1 294, est à la température de 200 degrés $\frac{1\ 294}{1\ 734} = 0{,}745$, la différence est de 0,548 *kg* par mètre cube.

Si la cheminée a un mètre carré de section et 20 *m* de hauteur, la différence de pression à la base sera, pour 200 degrés, 20 fois 0,548 *kg*, soit 10,960, ce qui corresprend à une colonne d'eau de 0,01096 *m*, soit, très sensiblement, 11 *mm* de hauteur.

On trouve que la vitesse avec laquelle l'air dilaté s'échappe sous une pression corpespondante à cette charge d'eau est de 16 94 *m* par seconde, déduction faite des frottements et résistance des parois et des changements de direction et de section.

Si on prend, par exemple, un kilogramme de houille de Blanzy, contenant : carbone 76 5 et hydrogène libre 3,1 pour 100, la combustion de cette houille exigera :

Oxygène	2,288 *kg*	=	1,597 m^3
Azote	7,660		6,098
Air	9,948		7,695

Avec ce volume de 7,700 m^3 en nombre rond, les gaz de la combustion emporteront, à 200 degrés, dans la cheminée la quantité non négligeable de 890 calories, soit sensiblement 1/8e du calorique développé par cette quantité de combustible.

La diminution de pression au bas de la cheminée de 20 *m* de hauteur déterminée par l'élévation de température des gaz de 200 degrés étant équivalente à une colonne d'eau de 11 *mm*, cette hauteur représente la pression qui insufflerait l'air dans le foyer.

Or, le travail mécanique nécessaire pour envoyer sous une grille 7,70 m^3 d'air à la pression de 11 *mm* d'eau correspondant à 10,10 *kg* sur une surface de un mètre carré, est de $10{,}10 \times 7{,}70 = 77{,}7$ ou, en nombres ronds, 78 *kgm*.

L'équivalent mécanique d'une calorie étant de 425 *kgm*, on voit que

(1) *Erratum*. — La Chronique de janvier 1889 porte par erreur le n° 110 au lieu du n° 109.

le calorique dispersé dans l'atmosphère par la sortie à 200 degrés des gaz de la cheminée, correspond à un travail de 890 × 425 = 378 250 *kgm*, soit 4 849 fois le travail théoriquement nécessaire. Si on admet, pour établir la comparaison sur le terrain pratique, que la machine à vapeur n'utilise que 5 1/2 pour 100 du calorique contenu dans le combustible qui l'alimente et que le ventilateur ne donne qu'un rendement de 10 0/0, le rapport deviendra $\frac{4\,849 \times 0{,}0055}{1} = 26{,}66$, c'est-à-dire qu'avec un ventilateur mû par une machine à vapeur, les deux appareils n'ayant qu'un rendement des plus modérés, on ne dépensera que le 27e du calorique que coûterait le tirage par une cheminée évacuant les gaz avec une différence de température de 200 degrés centigrades.

L'avantage de ce tirage mécanique serait encore bien plus considérable si les gaz s'échappaient à une température plus élevée. M. Morisson, dans un mémoire publié en 1883 dans le *Journal of the Society of Chemical Industry* a examiné la question comme suit :

Supposons 1 *kg* de houille moyenne de Newcastle pouvant développer par sa combustion 7 000 calories avec 24 *kg* d'air; le poids total des gaz sera de 25 *kg*, ces gaz se répartissant comme suit :

CO^2	3,7 *kg*	×	0,217	=	0,8029
O	2,8	×	0,218	=	0,6104
Az	18,5	×	0,244	=	4,5140
	25,0				5.9273

calorique nécessaire pour élever de un degré la température des gaz provenant de la combustion.

Si donc les gaz s'échappent de la cheminée à une température de 300 degrés supérieure à celle de l'air ambiant, le tirage absorbera une quantité de chaleur égale à 5,9273 × 300 = 1778,19 calories, soit, pour 7 000, 25 0/0. Si la différence de température s'élevait à 500 degrés, la perte atteindrait 42 0/0 de la quantité totale de chaleur que le combustible serait susceptible de produire.

M. Morrison ajoute : « Si on suppose une installation convenable pour utiliser la chaleur perdue par les gaz de la combustion au chauffage de l'air qui doit servir à la combustion, on trouve, ces gaz étant chauffés, par exemple, à 150 degrés au-dessus de la température ambiante, 150 × 0,2374 (chaleur spécifique de l'air) = 35,6 calories par kilogramme d'air, soit 35,6 × 24 = 854 pour la totalité, ce qui s'ajoute aux 7 000 calories que peut donner le combustible, soit 20 0/0 d'augmentation. Le chauffage de l'air à 300 ou 400 degrés donnerait un accroissement proportionnel, soit 40 et 53 0/0. En somme, avec le chauffage préalable de l'air, comme il vient d'être indiqué, on obtiendra l'effet calorifique d'une tonne de charbon avec 825, 710 ou 650 *kg* seulement, suivant les températures.

Les moyens de réaliser, d'une manière plus ou moins avantageuse, le principe de la combustion forcée dans les chaudières à vapeur, ont été souvent proposés ou décrits. On peut citer, pour l'Angleterre, d'abord Prideaux, puis Rowan (1876), le capitaine Hamilton Geary (1877), notamment pour l'emploi de l'anthracite dans les chaudières marines,

Perkins et Flannery (1880), Butler, James Howden et R. Sennett. Il y en a encore une quantité d'autres, mais la mention de ceux qui précèdent est bien suffisante pour faire apprécier à quel point la question a été étudiée. Dans tous ces systèmes, à l'exception des deux premiers, le but était simplement de fournir l'air destiné à la combustion dans une proportion convenable pour réaliser une température de combustion plus élevée qu'avec le tirage naturel. L'introduction du système dans la marine royale a été amenée beaucoup moins par l'objectif de l'économie de combustible que par la nécessité de ventiler les chambres de chauffe et d'amener facilement l'air aux foyers.

Dans l'un des premiers systèmes mentionnés plus haut (celui de l'auteur, M. Rowan), le but cherché était à la fois de fournir l'air par action mécanique, d'augmenter la pression sous laquelle s'effectuait la combustion et enfin de retarder la sortie des produits gazeux de cette combustion.

Le tirage par action mécanique présente donc, outre l'avantage de rendre plus économique l'appel de l'air et d'effectuer la combustion d'une manière plus efficace, celui de faire réaliser de nouvelles économies, telles que celles qui résultent du retard apporté à la sortie du gaz, du chauffage préalable de l'air, et enfin de la combustion sous une pression supérieure à celle de l'air ambiant.

La question de la combustion sous pression a été peu étudiée au point de vue pratique. Les recherches de Frankland et ses expériences ont servi à indiquer la marche à suivre et le bénéfice à trouver dans cette voie, mais les tentatives d'application ont été rares.

Bessemer a proposé en 1869 un système très ingénieux de foyers sous pression, mais il ne l'a mis en pratique que dans une mesure très restreinte.

Voici l'explication des principes sur lesquels repose ce système donnée par M. Maw dans le journal *Engineering*, vol. II, 1869, pages 197 et 261.

Lorsque la combustion s'opère sous pression, les produits gazeux de cette combustion occupent un volume moindre que s'ils étaient produits sous la pression atmosphérique, et par suite, la portion de calorique qui serait devenue latente par son emploi à la dilatation des gaz reste disponible pour l'élévation de la température. Les expériences de Poisson et de Laplace démontrent que la chaleur spécifique de l'air *à volume constant* est de 0,169 seulement, tandis qu'elle est de 0,238 *à pression constante,* la différence, soit 0,069, étant employée à la dilatation de 1 *kg* d'air pour l'étendue de 1 degré. C'est ce qui explique l'échauffement de l'air par sa compression ; la chaleur qui maintenait ses molécules écartées devient sensible et élève sa température. La compression n'augmente pas le calorique contenu dans une masse d'air, mais rend simplement sensible une partie de ce calorique.

Si maintenant on opère la combustion sous pression, on empêche les produits de la combustion de se dilater et de se rechauffer par la recompression comme dans les circonstances ordinaires. En d'autres termes, la température dans un foyer clos fonctionnant à la pression de deux atmosphères, par exemple, sera la même que si les produits provenant de la combustion sous la pression atmosphérique étaient, avant leur re-

froidissement complet, réduits brusquement à la moitié de leur volume actuel. L'élévation de température ainsi réalisée est facile à calculer par la formule bien connue.

Si on admet, ce qui est probable sans erreur sensible, que la formule applicable à l'air l'est également pour les gaz de la combustion, l'accroissement de température théorique due à l'emploi d'un foyer clos sous pression peut se calculer sans difficulté.

Ainsi, prenons le cas d'un foyer dans lequel les proportions d'acide carbonique et d'oxyde de carbone seront telles que, si la combustion se faisait à la pression atmosphérique, la température serait de 1 500 degrés centigrades au-dessus de la température ambiante ; si on calcule la température correspondant à la combustion sous la pression de deux atmosphères, par la formule de la forme :

$$T = \left\{ (t + 461) \times \left(\frac{P}{p}\right)^{0,29} - 461. \right.$$

t et T étant les températures et p et P les pressions absolues avant et après la compression, on trouve que la température cherchée est de 1 900 degrés en nombre rond, soit en excès de 400 degrés sur la température de la combustion à la pression atmosphérique. On trouverait de même, pour une pression de trois atmosphères, une température de 2 700 degrés, en excédent de 1 200 degrés par rapport à la température donnée par la combustion dans les circonstances ordinaires.

Nous avons eu la curiosité de nous reporter à l'article précité de l'*Engineering* 1869, vol. II, p. 197 ; on y décrit une forme de cubilot fonctionnant sous pression du système Bessemer. Il est indiqué, entre autres renseignements intéressants, qu'avec un petit modèle de ce cubilot fonctionnant sous une pression de 15 à 18 livres, soit 1,07 à 1,28 *kg* par centimètre carré, on réalisait une température à laquelle le fer forgé devenait aussi liquide que la fonte dans un cubilot ordinaire. Ainsi, une barre de fer à section carrée de 50 *mm* de côté et de 305 *mm* de longueur, pesant environ 6 *kg*, introduite froide dans le four, s'y liquéfiait complètement en 5 1/2 minutes ; de même 150 *kg* de tournure de fer entraient en pleine fusion en un quart d'heure.

Il ne parait pas y avoir eu de suites à ces expériences ; il est probable que les parois du four fondaient à peu près aussi vite que les substances métalliques à traiter, et que c'est la difficulté de trouver des garnitures assez résistantes et des obstacles du même genre qui ont empêché ces appareils de passer dans la pratique.

Moteur à ammoniaque. — Les publications de l'*American Society of Civil Engineers* contiennent un mémoire de M. E.-E. Magovern sur des expériences récentes faites avec un moteur à ammoniaque.

Le principe de ces moteurs, fondé sur la séparation par la chaleur de l'ammoniaque d'une dissolution aqueuse de ce gaz et sa réabsorption par l'eau à une plus basse température, est bien connu. On a souvent fait des tentatives d'application dont la plus connue, remontant à 1867, est due à M. Frot.

L'appareil expérimenté est du système Campbell. Il comprend une

chaudière, une machine, un appareil d'absorption et quelques accessoires. Nous allons décrire successivement ces diverses parties.

La chaudière est une chaudière horizontale à retour de flamme chauffée extérieurement. C'est un corps cylindrique de 3,30 *m* de longueur sur 1,05 de diamètre entièrement rempli de tubes et placé dans un foyer en maçonnerie au-dessus d'une grille. Les gaz de la combustion chauffent la partie inférieure et les côtés de la chaudière puis passent dans la moitié des tubes pour revenir à la cheminée par l'autre moitié. Cette seconde moitié qui est dans la vapeur constitue un surchauffeur.

Il y a 67 tubes enveloppés d'eau et 68 dans la vapeur, ces tubes ont 45 *mm* de diamètre.

La surface de grille est de 0,85 *mc*, la surface de chauffe totale en contact avec l'eau de 34,4 *mc*, et la surface de surchauffe de 29,2.

Le corps cylindrique porte un dôme avec deux soupapes de sûreté. L'une, chargée à 8 *kg*, évacue dans un tuyau qui aboutit à un réservoir contenant de l'ammoniaque en dissolution, le tuyau plongeant jusqu'au fond du réservoir. L'autre soupape, chargée à 9,5 *kg*, ouvre à l'air libre. La conduite de vapeur qui va à la machine part du haut du dôme.

Le tirage par la cheminée ayant été trouvé insuffisant, on a installé un tirage mécanique par un ventilateur dont l'air arrive dans le cendrier sous la grille de la chaudière. Ce ventilateur est mû par la machine.

Le liquide d'alimentation est refoulé dans le générateur par une pompe à double effet mue par la machine ; le corps de cette pompe a 75 *mm* de diamètre, la course du piston est de 225 *mm* et la vitesse de 70 tours par minute. Elle puise le liquide dans la bâche d'alimentation et le refoule dans deux réchauffeurs. Le premier de ces appareils se compose d'un serpentin formé d'un tube de 18 *mm* de diamètre et 30 *m* de longueur, placé dans un tube en fonte de 0,28 *m* de diamètre et de 2,10 *m* de longueur ; le second réchauffeur contient 22 *m* du même tuyau de 18 *mm*. Autour de ces tubes circule un liquide qui abandonne du calorique, lequel serait autrement perdu et dont on verra plus loin l'origine. En sortant de ces réchauffeurs, le liquide alimentaire passe dans un dernier serpentin de 18 *m* de longueur et 25 *mm* de diamètre, chauffé par les gaz de la combustion avant leur entrée à la cheminée. Il y a un réservoir dont il a déjà été parlé, pour réparer les pertes, s'il s'en produisait dans le liquide alimentaire.

Le dôme et les divers tuyaux exposés à l'air sont protégés avec le plus grand soin contre le refroidissement par des enveloppes de carton d'amiante et autres matières peu conductrices de la chaleur.

La machine est du type Porter-Allen, horizontale à un seul cylindre sans chemise de vapeur. La distribution s'effectue par deux tiroirs d'admission et deux tiroirs d'échappement mus par un excentrique agissant pour l'admission sur une coulisse dans laquelle le coulisseau est déplacé par l'action du régulateur à force centrifuge. Les garnitures des tiges sont métalliques et il n'y a pas d'appareils de graissage pour les tiroirs et le piston. L'ammoniaque suffit pour lubrifier ces pièces. On envoie simplement, avant la mise en train, un peu de liquide de la chaudière dans le cylindre par un petit tuyau spécial.

La machine actionne deux dynamos Edison d'une capacité nominale

de 225 ampères chacune. L'arbre de la machine fait 205 tours par minute et celui des dynamos 1 125. La force électro-motrice est de 93 volts environ.

Voici les éléments principaux de la machine :

Diamètre du cylindre	0,292 *m*
Course du piston	0,506
Diamètre de la tige du piston	0,045
Espace neutre (approximatif).	10 0/0
Travail par tour par minute et par *kg* de pression moyenne effective.	0,0229 cheval
Diamètre du tuyau de vapeur	0,100 *m*

L'absorption s'effectue par l'introduction dans le tuyau d'échappement d'un jet de liquide provenant de la chaudière, et que l'auteur désigne sous le nom de *spray* (écume) ; c'est de l'eau très faiblement chargée d'ammoniaque.

Ce jet arrive à la jonction des deux tuyaux d'échappement qui sortent du cylindre et peut avoir 3 *mm* de diamètre. La vapeur, après avoir subi l'effet de ce jet, passe à un premier appareil d'absorption qui n'est autre chose qu'un condenseur à surface formé de 500 tubes de 15 *mm* de diamètre extérieur et 1,05 *m* de longueur, puis dans un second formé de 150 tubes de même diamètre et de 1 *m* de longueur. La vapeur est à peu près entièrement liquefiée et le liquide résultant de la condensation passe dans un puisard clos où la pompe alimentaire le prend pour le refouler à la chaudière, en passant par les réchauffeurs successifs dont il a été question plus haut.

Le liquide appelé *spray*, qui a servi à la première condensation, a circulé à sa sortie de la chaudière autour de ces réchauffeurs, puis il a été refroidi dans un appareil formé d'un serpentin. Autour de ce serpentin et des condenseurs à surface dont on a parlé, circule de l'eau fournie par les conduites de la ville et en partie par l'eau de la North River près de laquelle se trouve la machine, eau élevée par une petite pompe centrifuge.

Les essais ont été faits en mars et avril 1888 ; ils ont été gênés par des fuites dans les tiroirs, fuites qui ont eu l'inconvénient de faire perdre de la vapeur et de nécessiter une plus grande quantité d'eau pour la condensation de celle-ci.

Nous donnons dans le tableau ci-joint les résultats de quatre expériences faites avec la vapeur d'ammoniaque et d'une cinquième faite sur la même machine alimentée par la même chaudière de vapeur d'eau ordinaire.

L'inspection de ce tableau fait voir :

1° Que, avec une chaudière pouvant produire de la vapeur pour 30 à 35 chevaux, on a pu développer avec l'ammoniaque 58,14 chevaux, soit 80 0/0 en plus ;

2° Que la consommation de charbon, qui était avec la vapeur d'eau de 2,55 *kg* par cheval et par heure, a été abaissée avec la vapeur d'ammoniaque à 1,35 *kg*, soit 53 0/0 d'économie.

Numéro de l'essai.	1	2	3	4	5
Date.	*8 mars.*	*9 mars.*	*16 avril.*	*29 avril.*	*12 mars.*
Mode de fonctionnement	Ammoniaque	Ammoniaque	Ammoniaque	Ammoniaque	Vapeur d'eau
Combustible.	Anthracite.	Anthracite.	Anthracite	Anthracite.	Anthracite.
Durée de l'essai.	8 heures.	10 heures.	7 h. 45.	10 heures	8 heures.
Poids total de combustible brûlé	634 *kg.*	634 *kg.*	497 *kg.*	702 *kg.*	658 *kg.*
Proportion de cendres	»	9,9 0/0	8,2 0/0	4,38 0/0.	9,5 0/0
Combustible brûlé par heure.	79,2	63,4	66,3	70,2	82,2
Combustible brûlé par heure et par mètre carré de grille	93	74,3	78	82,6	96,7
Pression moyenne au manomètre	7,08	6,76	6,13	5,98	4,71
Vide en mètres de mercure	»	0,291	0,278	0,177	»
Nombre de tours par minute	205,2	204,5	201,5	200,1	198,3
Pression moyenne effective sur le piston.	2,057	1,921	1,912	2,018	1,112
Travail en chevaux indiqués	61,8	57,53	54	59,25	32,26
Combustible brûlé par cheval indiqué et par heure	1,28	1,10	1,23	1,18	2,54

On pourrait objecter que l'économie est due, au moins en partie, à ce qu'avec la vapeur d'ammoniaque la machine fonctionne avec condensation. L'auteur conteste cette manière de voir en se basant sur les points suivants :

1° Les diagrammes n'indiquent qu'une très faible dépression au-dessous de la ligne atmosphérique, 10 0/0 environ.

2° Il n'y a pas de pompe à air.

3° On ne peut citer d'exemple où l'addition d'un condenseur à une machine aurait augmenté la puissance de 80 0/0 et diminué la consommation de plus de 50 0/0.

L'auteur ajoute que l'ammoniaque n'a même pas donné, dans ce cas, tout l'avantage qu'on aurait pu espérer, parce que la machine ne travaillait pas sous une charge assez considérable et parce que la chaudière ne vaporisait pas dans des conditions suffisamment économiques. Ces défauts se faisaient, il est vrai, sentir sur les deux natures d'essais, mais on ne saurait dire dans quelle proportion.

Il parait se vaporiser une notable quantité de vapeur d'eau avec l'ammoniaque, à en juger par la grande quantité de chaleur absorbée par l'eau qui circule autour des condenseurs à surface.

Les conclusions de l'auteur sont que le calcul du rendement d'une machine thermique par la formule connue $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ ne donne pas de résultat suffisamment exact, si le mode de réception et de dépense du calorique n'est pas indépendant de la nature du fluide intermédiaire ; cette formule ne tient pas compte de la différence des chaleurs latentes selon les liquides, lesquelles chaleurs latentes jouent un rôle important ; elle ne peut guère s'appliquer qu'aux machines thermiques où le fluide serait un gaz permanent, la chaleur latente n'entrant pas en jeu.

Nous rappellerons que, dans sa note sur sa machine à ammoniaque insérée dans les Bulletins de la Société des Ingénieurs civils, 1868, p. 170, M. Frot trouvait pour le rapport des consommations avec l'ammoniaque et la vapeur d'eau dans la même machine $\frac{1,51}{4,05} = 0,373$.

Moteurs à gaz de grande puissance. — Le Bulletin hebdomadaire de l'*Association des Ingénieurs allemands* donne quelques renseignements sur des moteurs à gaz de 100 chevaux de force, construits par la fabrique de Deutz (système Otto). Ces moteurs servent, en général, à actionner des dynamos pour produire la lumière électrique, mais ils peuvent être employés à tous autres usages. Ils sont à quatre cylindres, placés deux à deux de chaque côté de l'arbre moteur, lequel a deux coudes à 180 degrés l'un de l'autre, de sorte qu'il se produit une explosion à chaque demi-tour de la machine. La vitesse normale est de 140 tours par minute, mais on peut descendre à 120 sans que la régularité de la rotation cesse d'être suffisante pour la production de la lumière électrique.

Le moteur peut développer un travail maximum de 120 chevaux, la dépense est de 680 *l* de gaz par cheval et par heure. La dépense des moteurs de 50 chevaux est de 730 *l*.

On peut citer comme exemple une de ces machines, installée à la raffinerie de sucre de Pfeifer et Langen, à Elsdorf.

On n'emploie pas de gaz Dowson pour l'alimentation de ce moteur, mais bien le gaz d'éclairage produit dans l'usine même et dont le prix de revient, basé sur le travail d'une année, du 1er août 1887 au 31 juillet 1888, s'établit comme suit :

Dépenses.

Charbon, 3 130 *t* à 12 *f*	37 560 *f*
Main-d'œuvre	6 076
Matières d'épuration et divers	2 471
Amortissement à 10 0/0 sur un capital de 43 800 *f*	4 380
Intérêt à 6 0/0 sur le même capital	2 628
TOTAL	53 115

Produits.

54 0/0 de coke sur 3 130 *t*, soit 1 690 *t* à 12 *f*	20 280 *f*
152 830 *kg* de goudron	3 702
220 000 *kg* d'eaux ammoniacales	836
10 000 *kg* de matières d'épuration	75
TOTAL	24 893 *f*

La différence, soit 28 822 francs, représente le prix du gaz qui, pour une production totale de 867 974 m^3 ressort ainsi à 3,25 centimes le mètre cube.

Le rendement est, comme on peut le déduire des chiffres ci-dessus, de 27 72 m^3 de gaz, 4 88 *kg* de goudron, 7 03 *kg* d'eaux ammoniacales et 54 *kg* de coke pour 100 *kg* de charbon.

Le moteur consommant 680 litres de gaz par cheval-heure, emploiera 68 m^3 pour 100 chevaux, soit une dépense de $68 \times 0{,}0325 = 2\ 21$ *f* par heure. La dépense de gaz de 2 21 *f* par cheval et par heure doit être considérée comme un résultat très remarquable; avec la houille à 12 *f* la tonne qu'on emploie, elle correspondrait à une dépense de houille brûlée sous une chaudière, pour fournir de la vapeur à une machine, de 1,85 *kg* par cheval et par heure.

On pourrait évidemment dépenser un peu moins avec une machine à vapeur de 100 chevaux, mais, si on tient compte des autres avantages du moteur à gaz, dans les divers éléments du prix de revient de la force motrice, autres que le combustible, il semble que ce moteur peut, dans un cas pareil, lutter sans désavantage bien sensible avec la machine à vapeur.

Le procédé Poetsch en Amérique. — On creuse en ce moment, par le procédé Poetsch, un puits à Iron Mountain dans le Michigan. Voici les renseignements que donne à ce sujet l'*Engineering News* :

En fonçant un puits pour arriver à un gisement de minerai récemment découvert, on a rencontré à 8 *m* au-dessous du sol, un gisement de sables boulants, les sondages indiquaient une couche de même nature à 18 *m* de profondeur. La Chapin Mining Company, qui faisait creuser

ce puits, pensa au procédé Poetsch et se mit en rapport avec le général Sooy-Smith propriétaire de la patente aux États-Unis, pour foncer le puits par le froid de 7,50 à 30 *m* de profondeur. C'est la première application faite aux États-Unis, au moins sur une échelle un peu importante, du procédé Poetsch.

Autour d'un cercle de 8,85 *m* de diamètre, on perça 26 trous de 0,25 *m* de diamètre, ce qui ne fut pas une opération facile à cause de la nature du sol renfermant de grosses pierres et des galets. Dans ces trous, furent descendus des tubes en fer de 0,20 *m* de diamètre, hermétiquement fermés par le bas. Dans chaque tube on introduisit un tube de 38 *mm* descendant jusqu'à 0, 25 *m* du fond. Les tubes de chaque série sont réunis ensemble par des raccords en fer de même diamètre et sont en communication avec deux conduites qui se rendent au hangar où est établi le matériel destiné à produire le froid, lequel comporte une machine à froid et son moteur ainsi que deux grands réservoirs où aboutissent les conduites précitées.

La machine frigorifique opère sur une solution de chlorure de calcium dont elle abaisse la température à 25 degrés centigrades au-dessous de zéro; le liquide refroidi est refoulé dans les petits tubes et remonte par l'espace annulaire existant entre le petit tube central et le gros tube, pour retourner de là au réservoir d'où il repasse à la machine frigorifique et ainsi de suite.

Le résultat de cette opération est que le sol se refroidit peu à peu, jusqu'à se congeler autour des tubes et que ce cercle s'agrandit successivement et finit par former une muraille solide et impénétrable, les sables les plus ténus deviennent aussi fermes que le granit.

Le puits de l'Iron Mountain était déjà, lorsqu'a été écrit l'article que nous résumons, arrivé à 21 *m* de profondeur.

La machine frigorifique a été mise en marche le 20 novembre dernier et le sol a commencé à se congeler 24 heures après; dès le 24, le sol était complètement solidifié; toutefois ce n'est que le 27, qu'après inspection du terrain, on a décidé de commencer le travail de fonçage.

Des observations recueillies avec soin par M. Thomas, le directeur des travaux, il résulte que jusqu'à 21 *m* de profondeur au-dessous de l'ouverture du puits, le sol est congelé sur une étendue de 14 pieds, autrement dit que le puits est entouré d'un mur de terrain gelé de 14 pieds d'épaisseur.

En somme, le procédé Poetsch a eu un succès complet à l'Iron Mountain, le terrain le plus mobile se taille comme le rocher; or, on trouvait là des sables du caractère le plus dangereux, car une fois séparés de l'eau, ils étaient aussi fins que de la poussière, et on eût certainement éprouvé les plus grandes difficultés.

Bien que le principe du procédé soit resté le même, ce procédé a été considérablement amélioré dans ses détails depuis qu'il est entre les mains de ses propriétaires américains actuels, la compagnie Sooy-Smith.

Emploi comme combustible des gaz des hauts fourneaux. — Les publications des ingénieurs des mines américains rapportent des expériences faites par M. D. S. Jacobus sur l'effet utile d'une chaudière chauffée par les gaz d'un haut fourneau.

En voici le résumé d'après le journal de l'*Iron ana Steel Institute*.

On a employé une chaudière à tubes contenant l'eau, de 236 *m*² de surface de chauffe et considérée comme capable de vaporiser à l'heure 4 420 *kg* d'eau avec l'eau d'alimentation à 100 degrés, soit 19 *kg* environ par mètre carré de surface de chauffe et par heure.

Les gaz du haut fourneau arrivaient, par un carneau sous le sol, à la porte du foyer, d'où ils s'élevaient dans une chambre extérieure au fourneau ayant pour section 0,50 sur 0,40 *m* présentant 8 ouvertures rectangulaires horizontales de 190 *mm* sur 75, pour l'entrée des gaz avec, entre deux ouvertures voisines, un passage pour l'air de 190 sur 50 *mm*. Ces passages d'air aboutissaient à des ouvertures pratiquées dans chaque côté de la chambre en question, ouvertures munies de registres. Le tirage de la cheminée déterminait l'accès de l'air et des gaz qui se mélangeaient à la sortie des ouvertures précitées et s'enflammaient en passant sur une couche de charbon allumé placé sur la grille.

On a fait deux essais de douze heures chacun. L'eau d'alimentation était mesurée par un compteur Worthington dont on contrôlait de temps en temps le fonctionnement par des pesées directes opérées sur 500 *l* environ. La composition des gaz était mesurée à l'entrée et à la sortie de la chaudière par deux appareils d'analyse portatifs d'Elliot. La température des gaz était déterminée avec un pyromètre à boule de cuivre ; à cause de la perte par rayonnement à la sortie du fourneau, on avait un résultat un peu inférieur à la température réelle, mais la différence est négligeable.

La quantité d'air arrivant dans le foyer était estimée d'une manière approximative au moyen de deux anémomètres placés dans un tube en tôle mince de 0,228 *m* de diamètre précédant les ouvertures d'entrée d'air.

Si on admet que le poids d'air accusé par l'anémomètre représente la quantité totale d'air qui arrive à la chaudière, et si on calcule le poids des gaz employés en multipliant le poids de l'air par la proportion du gaz à l'air, on obtient un poids de gaz dont l'effet calorifique ne serait pas suffisant pour produire la vaporisation réalisée et laisser l'excédent nécessaire pour le tirage et le rayonnement. L'anémomètre n'accuse donc pas la totalité de l'air qui arrive à la chaudière.

On obtient un résultat plus satisfaisant en prenant les pressions dans les orifices d'entrée d'air et à la base de la cheminée et en en déduisant les vitesses de passage.

Voici les conclusions pratiques déduites de ces expériences :

1° D'après l'analyse des gaz, le seul élément combustible existant dans ces gaz était le carbone, et il restait 1,8 0/0 d'oxyde de carbone dans les gaz à leur entrée dans la cheminée ;

2° Si on tient compte du calorique contenu dans les gaz arrivant à une température de 340 degrés centigrades, on trouve que la puissance calorifique de ces gaz est de 783 calories par kilogramme ;

3° Il faut 0,9 *kg* d'air pour effectuer la combustion d'un kilogramme de gaz ;

4° Avec une cheminée produisant un appel d'air mesuré par une hauteur de 33 *mm* d'eau, une section de 1 920 *cm*² pour les entrées de gaz et de 640 pour l'entrée de l'air, la chaudière a vaporisé, avec de l'eau d'ali

mentation à 93 degrés centigrades, 4 530 *kg* à la pression de 5 *kg* par centimètre carré, c'est-à-dire tout près de 20 *kg* par mètre carré de surface de chauffe et par heure, et la vapeur nécessaire pour une machine donnant 350 chevaux, à raison de 13 *kg* de vapeur par cheval et par heure ;

5° Le rendement de la chaudière est de 61 0/0, c'est-à-dire que, des 783 calories que les gaz sont susceptibles de dégager par leur combustion, 61 0/0 sont représentées par le calorique contenu dans la vapeur produite.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINERALE

Réunions de Saint-Étienne

Séance du 5 janvier 1889.

Communication de M. Brustlein sur **l'emploi de l'eau surchauffée pour distribution de la chaleur à domicile, à Boston.**

L'auteur a extrait du *Scientific American* les renseignements suivants :

Il y a deux séries de conduites, l'une pour l'aller, l'autre pour le retour ; la disposition du terrain a permis, à Boston, de faire opérer par l'effet de la pesanteur le retour de l'eau refroidie à la station centrale.

On emploie des tuyaux en acier laminé essayés à 266 *kg* par centimètre carré avant la pose. Le réseau, une fois monté, est essayé à la pression de 100 *kg* ; or, la pression en marche ne dépasse jamais 25 *kg* environ. Ces tuyaux ont des joints de dilatation espacés de 30 à 45 *m* et sont posés dans des tranchées de 1,20 *m* de profondeur sur des supports en fonte. La conduite d'aller a 0,100 *m* de diamètre et celle de retour 0,200 *m* ; on a réduit le diamètre de la première pour diminuer les pertes de chaleur, lesquelles ont moins d'inconvénient pour la conduite de retour.

Les tuyaux sont munis dans chaque section d'un clapet automatique qui ferme la conduite en cas de rupture ; ces clapets sont à 30 *m* les uns des autres, de sorte qu'en cas de rupture des tuyaux par accident ou malveillance, il ne s'écoulerait que 550 *l* d'eau.

Les raccords sont faits par des manchons filetés, les tuyaux sont par bouts de 6 *m* de longueur.

A l'entrée de chaque maison est un détendeur-régulateur qui réduit à un taux constant la pression donnée par la conduite. Par cette réduction de pression, l'eau se réduit en vapeur qui sert au chauffage de l'édifice ou à la mise en mouvement d'une machine. L'eau condensée est recueillie et ramenée à la conduite de retour.

On prévient les pertes de chaleur dans la canalisation par l'emploi d'amiante cardée entourée de toile d'amiante rendue imperméable par un mélange de plâtre de Paris, laquelle toile est, de plus, garantie par une enveloppe en toile métallique.

L'installation de Boston a été faite à la fin de 1887; au mois de février 1888, elle alimentait déjà vingt-cinq grands bâtiments et un certain nombre de machines à vapeur. Les résultats paraissent être très satisfaisants.

Communication de M. Buisson sur **l'électricité dans les mines.**

Il s'agit d'extraits d'un mémoire de notre collègue M. P. Chalon, publié dans le *Génie Civil*, relativement à l'emploi de l'électricité dans les houillères d'Ynishir, dans le pays de Galles, emploi qui comprend l'éclairage, les signaux et le tirage des mines.

Bénéfices de l'exploitation des houillères belges.

M. Chansselle signale les statistiques des mines de Belgique pour 1887, d'après lesquelles M. Dujardin-Beaumetz a résumé, dans un tableau spécial, la marche de l'industrie houillère dans ce pays pendant les vingt-sept années écoulées de 1861 à 1887. Ce tableau, des plus intéressants, indique, pour chaque année, la production, le nombre des mines en bénéfice et celui des mines en perte, le bénéfice total, la perte totale et leur différence; soit le bénéfice général, le bénéfice général à la tonne, le nombre des ouvriers et leur salaire total annuel, le prix de vente à la tonne, etc. Le bénéfice général à la tonne a été au maximum de 5,93 *f* en 1873, il est descendu à 1 *c* en 1879. En 1887, il a été de 48 *c*, le nombre des mines en bénéfice pour cette année a été de 90 et le nombre des mines en perte de 50.

On exprime le désir de voir faire pour la France un relevé analogue dont les résultats surprendraient bien des personnes habituées à ne considérer que les bénéfices de quelques rares affaires de mines privilégiées.

Communication de M. Clerc sur une **réparation importante à un haut fourneau en pleine marche.**

Ces renseignements sont extraits du *Moniteur des Intérêts Matériels.*

Cette réparation a été faite au haut fourneau n° 1 de la Société de Monceau-sur-Sambre, dont la maçonnerie réfractaire, dans la plus grande partie de la cuve, avait eu son épaisseur réduite à 0,10 *m*, de 0,65 qu'elle avait lors de la mise en feu, par une usure anormale.

Profitant de ce que, entre la chemise réfractaire intérieure et la maçonnerie extérieure, il y avait un vide annulaire de 0,65 *m*, on a placé sur les voûtes des embrasures un cercle en fonte composé de segments boulonnés, sur lequel on a établi un revêtement réfractaire de 0,24 *m* d'épaisseur contre la chemise, ce revêtement étant maintenu par un système d'armatures composé de génératrices et de cercles en fer plat.

Le travail a été accompli en pleine marche et en trois semaines seulement.

Le sucre comme désincrustant. — M. Buisson signale un essai fait en Italie sur une chaudière tubulaire de 20 chevaux, dans

l'eau de laquelle on a mis, au moment du remplissage, 2 *kg* de cassonade; depuis, chaque semaine, on met la même quantité. La chaudière qui était fortement entartrée avant l'emploi du sucre, ne présente plus, depuis plusieurs mois de marche, que des dépôts sans adhérence qu'un simple lavage suffit pour enlever.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Septembre 1888.

Statistique des résultats de l'**Association des femmes en couches,** dans la période de 1866-1886, présentée par M. Gustave Dollfus.

Note sur la **Valeur pratique du calorimètre** de M. Lévis Thompson, par M. Scheurer-Kestner.

L'appareil en question, assez employé en Angleterre pour déterminer la chaleur de combustion de la houille, consiste en un vase calorimétrique en verre contenant de l'eau, en une cartouche en cuivre contenant un mélange du combustible à essayer avec de l'azotate et du chlorate de potasse et une cloche en cuivre enveloppant la cartouche. On allume le mélange au moyen d'une mèche et, dès que la mèche est allumée, on plonge l'appareil en cuivre dans l'eau du calorimètre; les produits de la combustion s'échappent à travers le liquide, de bas en haut, par la partie inférieure, percée de trous, de la cloche.

Cet appareil est commode et permet d'opérer très rapidement; mais il est très imparfait.

M. Scheurer-Kestner a entrepris une série d'expériences pour reconnaître le degré d'approximation de l'appareil; il a trouvé que le calorimètre Thompson donne des indications inférieures de 15 0/0 environ à celle du calorimètre de Favre et Silbermann, de sorte qu'en corrigeant les premières au moyen de ce coefficient, on peut arriver à des résultats approximatifs à 3 ou 4 0/0 près, ce qui peut suffire dans certains cas de la pratique.

Note sur les conditions générales de l'**Étude des machines marines,** par M. Widmann, Ingénieur de la marine.

L'auteur rappelle que le programme que doit s'imposer le constructeur de machines marines se résume dans deux points :

1° Réduction de la dépense de combustible;

2° Allègement des appareils.

La réduction de la dépense de combustible par unité de puissance résulte de l'emploi de pressions initiales plus élevées et de détentes plus étendues, mais la pratique a démontré que, pour que la détente produise effectivement le bénéfice qu'on doit en attendre, il faut qu'elle s'opère, non dans un seul et même cylindre, mais dans deux, trois ou même quatre cylindres successifs, le nombre des cylindres augmentant avec la pression initiale.

Cette nécessité tient à plusieurs causes; d'abord à ce qu'on ne peut guère employer dans les machines marines que des distributions par tiroir, qui obligent à des espaces neutres de 9 à 10 0/0 et surtout à la manière dont la vapeur se comporte dans les cylindres à parois conductrices de la chaleur, où se produisent des condensations et revaporisations successives dont l'effet est absolument analogue à celui d'une fuite de vapeur.

L'auteur rappelle que l'application des machines à détentes successives à la navigation sous la forme généralement adoptée aujourd'hui est due à Benjamin Normand, qui essaya ce système dès 1860 sur le *Furet*. Ce fut également Normand qui appliqua le premier la triple expansion à la machine marine; on sait avec quelle rapidité ce système est en train de se répandre.

Le mémoire entre dans quelques considérations sur les machines à triple expansion et cite divers exemples.

Le poids des appareils marins a diminué dans une certaine proportion puisque, par suite de la réduction de la dépense de combustible, les chaudières n'ont plus à fournir qu'un poids de vapeur égal à la moitié ou aux deux tiers du poids exigé par les anciennes machines. Mais une réduction bien plus importante provient de l'adoption du tirage forcé qui permet de brûler beaucoup plus de combustible par unité de surface de grille.

Une autre cause d'allègement des appareils est dans l'augmentation de la vitesse des pistons, qu'on ne craint pas de porter à 4 ou 5 *m*, au lieu de 2 à 3; mais on éprouve souvent de grandes difficultés par suite des vibrations que prennent les machines et les coques construites dans beaucoup de cas, de manière à réaliser le plus faible poids possible, et ce sont ces vibrations qui tendent, pour ainsi dire, seules à limiter les vitesses dans la pratique.

On peut encore mentionner la substitution, pour certaines parties des machines, du fer et de l'acier à la fonte, substitution qui n'est pas sans avoir un effet pour la réduction du poids des appareils.

Note sur les **soies sauvages**, par M. Ch. Grosseteste.

Etude sur les **matières colorantes tirant sur mordants**, par M. St. de Kostanecki.

Sur la **résistance du parement aux opérations de blanchiment**, sur le vitriolage final et sur le système H. Koechlin-Mather-Platt, par M. Camille Koechlin.

Note sur l'**acide sulfonique** de l'éther méthylique, de l'acide phényle-carbaminique, par M. E. Noelting.

Rapport présenté par M. Félix Binder sur une note de MM. Benedikt et Ulzer sur la **constitution des huiles fixes** dites « sulfoléates » et « sulforicinates ».

OCTOBRE ET NOVEMBRE 1888.

Rapport général, présenté au nom du bureau de l'**Association pour prévenir les accidents de fabrique**, par M. ENGEL-GROS, président de l'Association.

Rapport de M. ROHR, inspecteur de l'Association, sur les **travaux techniques** exécutés sous sa direction, du 1er mai 1885 au 31 décembre 1886.

Rapport de M. PIERRON, inspecteur de l'Association, sur les **travaux techniques** exécutés sous la direction de M. Rohr, du 1er janvier au 31 décembre 1887.

Ce rapport, outre la statistique des accidents et le détail des mesures de sûreté conseillées en 1887, contient la description de quelques appareils, tels que le cric de sûreté à frein automatique, de la Société Alsacienne de constructions mécaniques, un chapeau de sûreté pour scies circulaires, système Horn, et un appareil préventif pour machine à blanchir le bois de la fabrique de machines-outils de Chemnitz.

Note sur les **nouveaux appareils à désinfecter, système Koch**, par M. Gustave DOLLFUSS.

Mémoire sur les **appareils à désinfecter**, système Koch, installés au lazaret municipal des épidémies et à l'hôpital civil de Strasbourg, par M. Alp. KOCH.

Dans l'appareil Koch, on emploie d'abord l'action de la chaleur sèche qui commence par raréfier l'air contenu dans les objets à désinfecter, puis on introduit de la vapeur sous pression, laquelle, sans produire de condensation, pénètre en peu de minutes tous les objets soumis à l'opération. Les objets retirés ne sont nullement altérés et, en quelques minutes d'exposition à l'air, ils ont repris leur aspect primitif.

Pour éviter tout danger, l'air chaud qui se dégage de l'appareil est obligé de traverser un récipient contenant de l'eau bouillante et est ainsi purgé des parties infectées qui ne peuvent se dégager à l'air libre. Cette précaution est très importante.

L'opération dure 40 minutes; pendant 20 minutes on soumet les objets à la chaleur sèche, et pendant 20 autres minutes à l'action de la vapeur. Un appareil qui peut contenir six matelas et quelques couvertures peut servir à désinfecter cent lits en 24 heures. L'opération est peu coûteuse en combustible et exige deux personnes seulement pour le service.

L'appareil du lazaret de Strasbourg se compose d'une chambre prismatique à doubles parois en fer et tôles de 0,13 *m* d'épaisseur. Le volume utilisable pour les objets à désinfecter est de 4 m^3 environ. Il y a deux portes de 1 *m* sur 2. L'intervalle des parois est garni de laine minérale.

Sur les côtés de l'appareil est disposée une canalisation de tuyaux à ailettes, où on amène de la vapeur. Les portes étant closes, l'air de la chambre s'échauffe, se dilate et ne peut s'échapper que sous une pression de 2 *m* d'eau déterminée par la colonne d'eau bouillante qu'il doit traverser pour sortir de la chambre.

Les objets étant déjà chauffés par le contact de l'air chaud, la vapeur qu'on introduit ensuite dans la chambre ne se condense ni sur eux, ni

sur les parois ; ce courant de vapeur expulse l'air, et il ne reste dans l'intérieur que de la vapeur dont l'effet est beaucoup plus efficace que celui d'un mélange d'air et de vapeur.

L'opération terminée, on arrête l'injection de vapeur, on vide l'appareil par un robinet spécial et on ouvre les portes, qu'on laisse entrebâillées pendant cinq minutes, avant de sortir le chariot qui porte les objets. Pendant ce temps les tuyaux à ailettes, qui sont chauffés pendant toute l'opération, aident au séchage rapide des objets.

Cet appareil, qui a donné d'excellents résultats, n'a d'autre défaut que celui d'être très lourd, à cause de sa forme prismatique et de l'épaisseur qu'il a fallu donner aux parois pour résister à la pression de 2 000 *kg* par mètre carré. Aussi, M. Koch s'est-il décidé à employer la forme cylindrique, déjà en usage d'ailleurs dans certaines étuves de désinfection.

Le nouvel appareil est un cylindre horizontal avec deux portes, le tout entouré d'une enveloppe isolante ; les tuyaux à ailettes ont une surface de 15 m^2. Un régulateur de pression laisse échapper la vapeur mélangée d'air, dès que la température de la vapeur dans l'étuve atteint le degré prévu.

L'appareil installé dans la buanderie des hospices civils de Strasbourg a 1,30 *m* de diamètre intérieur, 2,20 *m* de longueur utilisable et 2,90 m^3 de volume intérieur.

Le chariot peut porter à la fois quatre matelas et huit couvertures.

La note renferme quelques considérations sur les stations publiques de désinfection permettant aux particuliers de faire désinfecter les objets contaminés par le contact des malades dans les appartements.

L'utilité de ces stations n'est pas contestable ; les premières ont été établies en Angleterre, et il en existe actuellement dans un grand nombre de villes de ce pays et de Belgique, Hollande, Danemark et Allemagne.

On peut citer l'installation créée à Berlin en 1886 et qui fonctionne avec quatre grands appareils Schimmel.

A Strasbourg, l'administration municipale a annexé une station publique de désinfection au lazaret spécial des épidémies, situé en dehors de la ville, et installé de telle sorte que la ville soit en état de lutter contre n'importe quelle épidémie qui viendrait à éclater subitement, sans encombrer immédiatement l'hôpital civil, réservé pour les maladies ordinaires.

La taxe est de 2,50 *f* pour la désinfection d'un matelas et de 0,75 *f* pour un édredon ou un ballot d'effets de volume équivalent.

Les effets des indigents sont désinfectés gratuitement.

A cause de la distance, on ne se sert plus pour le service des particuliers de l'appareil du lazaret; on emploie l'appareil de la buanderie de l'hospice civil.

En somme, on peut dire que la ville de Strasbourg possède actuellement des installations de désinfection modèles, qu'il serait à souhaiter de voir imiter par d'autres villes, sans attendre des épidémies pour lesquelles on est réduit à adopter des solutions improvisées plus défectueuses et plus coûteuses que des installations créées à temps et à tête reposée.

Les **Falsifications du lait**, par M. Robert Bourcart.

Note sur la **Détermination de la substance sèche** ou résidu d'évaporation du lait, en même temps que de la cendre et de l'analyse des laits caillés, par M. Robert Bourcart.

Recherches sur les **Xylidines et leurs dérivés**, sur la paraxylidine, sa préparation et ses propriétés, par MM. Otto N. Witt, E. Nœlting et S. Forel.

Note sur le **Développement de l'industrie** sur le continent européen, par M. Grosseteste-Thierry.

Notice géologique sur l'âge des dépôts traversés par les forages de Dornach et de Niedermorschwiller, par M. Mathieu Mieg.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 5. — *2 février 1889.*

Moteur à air chaud de Benier, par le Dr Slaby.

Recherche de la valeur la plus économique de la vitesse de l'eau dans les conduites au point de vue de l'élévation artificielle, par O. Smreker.

Résistance des matériaux. — Expérience sur la résistance des câbles et fils de fer soudés.

Nouvelles installations du port de Brême.

Groupe de Manheim. — Bois fossile. — Purgeur d'eau de condensation et soupape de rentrée d'air.

Répression des abus de confiance des employés de fabrique, par le Dr Katz.

Patentes.

Variétés. — Chemins de fer dans la colonie de Natal, Afrique méridionale. — Prix de l'Association du mérite industriel. — Établissement d'essais techniques de Charlottenburg. — Monument de Louis Favre (du Gothard). — Chemin de fer à navires. — Attachés techniques dans les ambassades.

N° 6. — *9 février 1889.*

Calcul graphique du poids des volants de machines à vapeur, par Carl Meyer.

Résistance des matériaux. — Expériences sur la résistance des tuyaux en cuivre pour conduites de vapeur, par Rudeloff.

Métallurgie. — Progrès dans la production et le travail du fer obtenu par fusion (flusseisen), par R. M. Dælen.

Alfred Krupp et le développement de la fabrication de l'acier fondu à Essen.

Groupe de Berlin. — La propriété intellectuelle et les conventions qui la régissent.

Groupe de Hambourg. — Bombement des jantes des poulies pour courroies.

Patentes.

N° 7. — *16 février 1889.*

Expériences sur la résistance à la torsion, par C. Bach.

Métallurgie. — Progrès dans la production et le travail du fer obtenu par fusion (flusseisen), par R. M. Dælen *(suite).*

Groupe de Wurtemberg. — Chauffage Tenbrinck.

Patentes.

Bibliographie. — Manuel général de construction de machines, par M. Ruhlmann. — Emploi du calcul infinitésimal dans les sciences naturelles, la construction et la technologie, par le Dr Arwed Fuhrmann.

Variétés. — Le gaz à l'eau et ses dangers. — Statistique des écoles techniques supérieures en Allemagne. — Le sondage le plus profond du monde. — Secours contre les accidents. — Établissement d'instruction technique de Hildburghausen.

N° 8. — *23 février.*

Notice nécrologique sur Heinrich von Dechen.

Expériences sur la résistance à la torsion, par C. Bach *(fin).*

Installations de chauffage et ventilation des bâtiments de l'Académie de marine à Kiel, par Herm. Fischer.

Notice nécrologique sur George-Henry Corliss, mort le 21 février 1888.

Résistance des matériaux. — Expériences sur la résistance des tuyaux en cuivre pour conduites de vapeur, par Rudeloff *(suite).*

Groupe de Berlin. — Signaux électriques, par Siemens et Halske.

Groupe de Cologne. — Ateliers de construction de machines de la Société Humboldt à Kalk, près Deutz. — Moteur à gaz de 100 chevaux de la fabrique de Deutz.

Patentes.

Pour la Chronique et les Comptes rendus,

A. Mallet.

IMPRIMERIE CENTRALE DES CHEMINS DE FER. — IMPRIMERIE CHAIX. — 20, RUE BERGÈRE, PARIS. — 5902-3-9.



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

MARS 1889

N° 3

Sommaire des séances du mois de mars 1889 :



12° *Notice nécrologique*, sur M. Netter, par M. Polonceau. (Séance du 15 mars, page 340.)

13° *Réception des Mechanical Engineers*. (Séance du 15 mars, page 343.)

14° *Compteurs d'énergie électrique (Prix de 10,000 francs et 5 prix de 2,000 francs pour les inventeurs de)*. (Séance du 15 mars, page 345.)

15° *Congrès relatif aux travaux maritimes (Renseignements sur le)*, par M. J. Fleury. (Séance du 15 mars, page 346.)

16° *Transport de la canonnière Farcy (Compte rendu du)*, par M. Cottancin. (Séance du 15 mars, p. 346.)

17° *Les Chemins de fer (Compte rendu de l'ouvrage de* MM. Lefèvre et Cerbelaud *sur)*, par M. E. Polonceau. (Séance du 15 mars, page 348.)

18° *Fabrication et les emplois actuels de l'acier déphosphoré (Compte rendu du Mémoire de* M. Bresson *sur la)*, par M. E. Polonceau. (Séance du 15 mars, page 349.)

19° *État actuel de la Métallurgie du fer et de l'acier en Allemagne*, par M. Bresson, et Observations de MM. Périssé, Euverte, Polonceau, Lencauchez et Regnard. (Séance du 15 mars, page 350.)

20° *Gaz à l'Eau*, par M. Gassaud. (Séance du 15 mars, page 363.)

Pendant le mois de mars, la Société a reçu :

30432 — De M. J. Rey : *Le Turbo-moteur et la dynamo-Parsons*. Br. gr. in-8° de 19 p. Paris, Gauthier-Villars, 1889.

30433 — De M. G. Masson : *Les Compteurs d'énergie électrique*, par M. E. Hospitalier. Br. gr. in-8° de 35 p. Paris, G. Masson, 1889.

30434 — De M. A. Neveu (membre de la Société) : *Les vins d'orge et l'eau-de-vie de vin d'orge, au point de vue de l'hygiène et de l'alimentation*, par G. Jacquemin. Br. in-8° de 23 p. Nancy, P. Sordoillet, 1888.

30435 — De M. F. Dubost (membre de la Société) : *Notice sur la détermination exacte des positions réciproques de l'extrémité de la bielle et de la manivelle, et sur une épure de distribution tenant compte de l'obliquité des bielles*. Br. in-4° de 4 p. Paris, Gauthier-Villars, 1888.

30436 — Note additionnelle à celle ci-dessus.

30437 — De l'*Association française pour l'avancement des sciences. Compte rendu de la 17e Session, Oran, 1re et 2e parties*. 2 vol. in-8°, G. Masson, Paris, 1888.

30438 — De M. F. Paponot (membre de la Société) : *Suez et Panama, Une solution*. Vol. gr. in-8° de 143 p. Paris, Baudry et Cie, 1889.

30439 — De M. G. Bresson (membre de la Société) : *Mémoire sur la fabrication et les emplois actuels de l'acier déphosphoré*. Paris, C. Borrani, 1889.

30440 — De M. Ed. Peny (membre de la Société) : *Caisse de prévoyance établie en faveur des ouvriers mineurs des houillères du Centre*.

Généralisation des pensions aux vieux ouvriers et à leurs veuves. Br. in-8° de 15 p., Morlanwelz (Belgique), E. Gense, 1889.

30441 — Du Ministre des travaux publics de Hollande : *Carte de Vierlinglsbeeck (n° 3), relative au colmatage des polders.*

30442 — De M. J. Schlichting : *Problème d'hydraulique. Conférence faite à l'Ecole technique supérieure de Berlin par le recteur.* (Die aufgaben der Hydrotecnik. Rede in der aula der Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin). Berlin, Denter et Nicolas, 1889. Br. in-4° de 24 p.

30443 — De M. Max de Nansouty (membre de la Société) : *Projet d'utilisation d'une chute d'eau pour l'éclairage électrique d'une ville.* Texte in-8° et atlas in-f°. Paris, Bernard et Cie, 1889, par M. L. Vigreux.

30444 — De M. P. Lefèvre : *Détermination des distances à observer entre les signaux avancés et les points à protéger, et du nombre de freins gardés à placer dans les trains.* Br. in-4°. Paris, Dunod, 1889.

30445 — De MM. P. Lefèvre et Noblet : *Application de l'inducteur Postel-Vinay au service des cloches électriques.* Paris, Dunod, 1889. Br. in-4°.

30446 — Du Ministère du Commerce et de l'Agriculture : *Exposition universelle de 1889 à Paris. Direction générale de l'exploitation. Comités d'installation.* Paris, Imprimerie nationale. Vol. gr. in-8°

30447 — Du Ministère du Commerce et de l'Agriculture : *Exposition universelle de 1889 à Paris. Direction générale de l'exploitation. Comités d'organisation.* Paris, Imprimerie nationale. Vol. gr. in-8°.

30448 — De M. D. A. Casalonga (membre de la Société). *L'unification internationale des séries de pas de vis et de divers autres organes élémentaires de construction.* — Charleville, Pouillard, 1878. — Br. in-8° de 23 p.

30449 — De M. Geronimo Bolibar. *Discurso del Sr D. Juan Navarro Reverter, Presidente en la Sesión de Clausura del Congresso internacional de Ingenieria.* — Barcelona, J. Balmas Planas, 1888. — Br. de 27 p. in-8°. (3 exemplaires).

30450 — De M. F. Brard (membre de la Société). *Compania de los ferrocarriles Andaluces. Minas de Belmez y Espiel. Memoria para la exposicion universal de Barcelona.* — Br. in-4° de 16 p. — Malaga, imp. de la Cie, 1888.

30451 — De M. Moorhouse. *Notice sur le moulin Sturtevant pour broyer et moudre les minerais, les phosphates, l'émeri et autres matières dures et réfractaires.* — Br. in-4° de 6 p. — Londres, Crowther et Goodman, 1889.

30452 — De M. A. Dubousset. *Notice sur les kaolins de Beauvoir,* avec carte. — Feuille in-4°. — Riom, E. Girerd.

30453 — De M. F. Chadwick. ***Canadian Society of civil Engineers.— Charter, By Laws and List of Members.*** Montreal, John Lowel et Son, 1889. — Br. in-8°.

30454 — De M. E. Grand. ***Le Guide-courant. — Appareil destiné à fixer le lit d'un fleuve ou d'un cours d'eau.*** — Feuille in-4°. — Paris, Chaix et Cie.

30455 — De M. Sergueeff (membre de la Société). ***Guide pour l'usage et la réparation de l'appareil lithographique écrivant, système Hughes.*** — Saint-Pétersbourg, 1888.— Vol. in-8° de 144 p., en russe.

30456 — De M. H. Forest (membre de la Société). ***Notice sur le viaduc métallique du bassin de la Liane à Boulogne-sur-Mer.*** — Paris, Publication du *Génie Civil*, 1889. — Br. in-4° de 11 p.

30457 — De M. A. Schindler. ***Correction des torrents et rivières d'après les lois naturelles. (Die Wildbach- und Fluss-Verbauung nach den Gesetzen der Natur).*** — Zurich, Hofer et Burger, 1889. — Br. de 81 p.

30458 — De M. Strauss (Lucien Cahen). ***Les Chemins de fer***, par Lefebvre et Cerbelaud.— Paris, Quantin, 1889.— Vol. in-8° de 315 p.

30459 — Du même. ***Les sciences expérimentales en 1889***, par A. Boudureau. — Paris, Quantin, 1889. — Vol. in-8° de 255 p.

30460 — Du même. ***La houille et ses dérivés***, par Chemin et Verdier. — Paris, Quantin, 1889. — Vol. in-8° de 319 p.

Les membres nouvellement admis sont :

Comme membres sociétaires, MM. :

A. Beardsley,	présenté par MM.	Waddell, Watson et Thurston.
W. Dierman,	—	Belpaire, Hersent et Eiffel.
E. Decourt,	—	Feraud, de Grièges et Ribail.
G. Faurie,	—	Michelet, Carpentier et Delage.
J.-G. de Guillen Garcia,	—	Reymond, Brüll, Périssé.
R.-D. Jacquemart,	—	Carimantrand, Mallet et Orsatti.
A.-L. Lebon,	—	E. Lebon, Degousée et E. Leclerc.
L. Rival,	—	Brüll, Boudenoot et Petit.
S.-C. Van Isschot,	—	Lenicque, Hervegh et Gottereau.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MARS 1889

Séance du 1er mars 1889.

PRÉSIDENCE DE M. G. EIFFEL

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. EDMOND COIGNET demande la parole pour présenter quelques observations sur le procès-verbal de la précédente séance, relativement aux expériences de son père, rappelées par M. Polonceau.

Il dit que son père a toujours été partisan de l'emploi du fer avec le ciment. Il croit que M. Polonceau a fait une confusion : les essais qui n'ont pas réussi sont ceux où l'on employait des morceaux de fil de fer de 5 à 6 *cm* de longueur mélangés au béton ; mais l'emploi du fer sous forme de barre, de poutrelles et de fil de fer de longueur suffisante, a toujours donné de bons résultats, notamment pour les planchers et les voûtes. Le fer résistant à l'extension et le béton à la compression, on constitue, par la combinaison de ces deux matières, un ensemble homogène dans d'excellentes conditions ; il est néanmoins nécessaire que l'épaisseur soit assez considérable afin qu'il y ait une certaine distance entre les fibres résistant à la compression et les fibres résistant à l'extension.

Il ajoute que l'emploi du fer recouvert d'une couche protectrice de béton peut être d'une grande utilité, notamment en cas d'incendie : on empêche ainsi la déformation des pièces de fer qui sont soumises à l'action du feu et de l'eau dont on se sert pour combattre le feu. En effet, il résulte des expériences directes faites par le professeur Bauschinger, de Munich, que si la pierre calcaire et le granit soumis au feu, puis à l'eau dans les conditions d'un incendie ne résistent pas, se transformant en chaux ou alternant sous les jets d'eau? il n'en est pas de même du béton qui résiste très bien.

Il ne veut pas insister davantage pour le moment, se réservant de prendre la parole quand la question reviendra devant la Société.

M. POLONCEAU dit que les expériences qu'il a rappelées avaient été faites il y a une trentaine d'années.

A la suite de ces observations, le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de M. Bonnet (Désiré), qui était constructeur à Toulouse, et celui de M. Maldant (Eugène).

M. Jousselin, qui connaissait M. Eugène Maldant, dit qu'il appartenait depuis l'année 1854 à la Société des Ingénieurs Civils.

Au début de sa carrière, il avait été employé sur la ligne d'Orléans à Bordeaux, au service de la traction. Il y occupait en 1853 le poste de Chef de dépôt, lorsqu'il quitta la Compagnie pour organiser à Bordeaux un important établissement de construction de machines (les Ateliers Bordelais), à la tête duquel il resta jusqu'en 1860.

Fixé dès cette date comme Ingénieur civil à Paris, il prit part, dans de nombreuses occasions, aux travaux de notre Société et il fut élu membre du Comité en 1870.

Il s'occupait spécialement à Paris de distribution d'eau et de gaz et était gérant de l'ancienne Société des Compteurs Wellart.

On lui doit un compteur à eau très ingénieux adopté par la Ville de Paris pour le service des maisons particulières.

D'un esprit très cultivé, M. Maldant avait publié plusieurs ouvrages d'économie sociale, l'un entre autres sous le titre : *Force et matière*, qui fut lu en séance publique à l'Académie des sciences morales et politiques.

En 1885, il fit à la Société la communication d'un mémoire très intéressant sur une langue spéciale universelle de son invention, dont il fut un ardent promoteur : il avait même publié à ce sujet une grammaire et un vocabulaire.

Travailleur ardent, M. Maldant succombait pour ainsi dire sur la brèche le 17 février dernier, enlevé en quelques heures par une congestion cérebrale.

Il emporte les regrets de tous ceux qui avaient été à même d'apprécier son caractère éminemment sympathique.

M. le Président dit que la Société s'associe aux regrets que vient d'exprimer M. Jousselin.

M. le Président annonce les nominations suivantes, comme membres des comités d'organisation des congrès internationaux :

Pour l'utilisation des eaux fluviales : MM. Pronnier et L. Vauthier;
Pour la chimie : M. Berthelot;
Pour la mécanique appliquée : M. Jules Armengaud;
Pour les procédés de construction : MM. L. Baudet et J. Charton.
Pour les cercles d'ouvriers : M. Remaury;
Pour l'étude des questions coloniales : M. l'amiral Pâris;
Pour le sauvetage : MM. Cacheux, de Nansouty et A. de Rotschild.

M. le Président donne lecture des lettres de MM. Barlow et Hirn qui remercient la Société de les avoir nommés membres honoraires.

M. le Président dit qu'il y a quelques jours, un grand banquet a été offert à M. Alphand par tous les constructeurs de travaux métalliques et

par les métallurgistes qui ont participé aux travaux de l'Exposition universelle de 1889. Il a adressé à M. Alphand, au nom de la Société, les paroles suivantes :

« Monsieur le Directeur général,

» Je me félicite tout particulièrement aujourd'hui en joignant mes éloges à ceux si mérités qui viennent de vous être adressés, de vous parler au nom de la Société des Ingénieurs civils et de pouvoir donner plus d'importance à mes paroles en les appuyant de l'autorité de notre Société.

» Je suis heureux de pouvoir vous affirmer ici que notre Société tout entière vous est très reconnaissante, Monsieur le Directeur général, de l'importante part que vous avez réservée aux Ingénieurs civils dans l'édification des remarquables palais que vous élevez au Champ de Mars pour l'Exposition universelle.

» Vous savez, d'après votre grande expérience des hommes et des choses, que les constructions métalliques sont une des branches de l'art des constructions dans laquelle nos collègues actuels ou anciens se sont depuis longtemps distingués et dont ils se sont, soit directement comme Ingénieurs, soit indirectement comme constructeurs, fait un domaine où leur compétence spéciale s'est toujours affirmée.

» Vous avez agi conformément à cette conviction en choisissant pour Ingénieur en chef des constructions métalliques, M. Contamin, notre Vice-Président et en plaçant à côté de lui comme Ingénieur en chef-adjoint, M. J. Charton, membre de notre Comité.

» Vous n'avez pas du reste eu à vous en repentir ; sous votre haute direction, ils ont pu, en un temps extraordinairement court, contribuer à la réalisation de ces œuvres que nous admirons aujourd'hui et que le monde entier admirera demain. Je veux parler avant tout de cette magnifique et imposante galerie des machines dont les dimensions colossales dépasseront tout ce qui est connu jusqu'à ce jour, et qui restera comme une date dans l'art des constructions, et aussi de ces dômes puissants et de ces fermes si élégantes et si rationnelles que l'on trouve dans les autres palais du Champ de Mars. . . . » *(Vifs applaudissements.)*

M. le Président annonce que les Congrès officiels, qui doivent se tenir à Paris pendant l'Exposition universelle, sont presque tous organisés. Il en est ainsi notamment pour la *Commission d'organisation du Congrès des procédés de construction*, dont le bureau est composé comme suit :

M. Eiffel, président; MM. Boutillier, Clerc, Muller, vice-présidents; MM. de Fontviolant, Moreau, Barel, secrétaires.

Ce congrès est celui qui intéresse le plus grand nombre de membres de la Société, c'est, pour ainsi dire, le *Congrès du Génie civil*; il aura à étudier, ainsi que son nom l'indique, toutes les questions relatives aux procédés de construction, excepté celles qui concernent les travaux maritimes, la navigation fluviale et la mécanique appliquée, lesquelles sont soumises à des Congrès spéciaux.

Le bureau s'est déjà réuni plusieurs fois et, pour donner plus d'ordre

et d'utilité aux travaux du Congrès, il en a limité le champ aux questions contenues dans le programme suivant (1) :

1° Chaux, ciments et mortiers;

2° Emploi de l'acier;

3° Modes d'essai des matériaux;

4° Exécution des grands terrassements, excavateurs, machines perforatrices, explosifs, etc...

5° Étude des divers procédés de fondation, pieux à vis, air comprimé, congélation, blocs en béton;

6° Construction des tunnels;

7° Construction des ponts et viaducs en maçonnerie;

8° Constructions métalliques.

Quatre de ces questions, les chaux, mortiers et ciments, l'emploi de l'acier, l'étude des divers procédés de fondation et les constructions métalliques ont paru mériter particulièrement l'attention du Congrès. Il a pensé, du reste, que la meilleure manière d'en faire une étude profitable pendant la courte période qu'embrasseront les travaux de cette assemblée, était de demander, sur chacune d'elles, aux Ingénieurs que leur compétence désignerait d'une manière toute spéciale pour cet objet, un rapport devant servir de base aux communications qui pourront être faites au Congrès.

Afin d'éviter que l'on ne vînt exposer au Congrès des questions qui ne seraient pas suffisamment nouvelles, un certain nombre de personnes, les plus compétentes dans leur spécialité, sont chargées de présenter des rapports sur l'état actuel de nos connaissances sur chacune des questions ; on éliminera ainsi tout ce qui est inutile, et on ne parlera que de choses vraiment nouvelles et particulièrement intéressantes.

Les séances du *Congrès des procédés de construction* se tiendront dans l'hôtel de notre Société.

M. LE PRÉSIDENT appelle tout spécialement l'attention de nos collègues sur ce Congrès, qui a pour notre Société une importance particulière. C'est assez dire que toutes les communications des membres de la Société y seront accueillies avec empressement.

M. LE PRÉSIDENT entretient ensuite l'assemblée de la participation de la Société à l'Exposition de 1889. Grâce aux démarches de notre ancien et très sympatique président, M. Reymond, un local de 80 m^2 nous a été accordé à l'extrémité de la galerie des machines, au second étage, au coin de l'avenue Lamotte-Piquet et de l'avenue de Suffren. Cet empla-

(1) Les bureaux des autres commissions d'organisation sont ainsi constitués :

Mines et métallurgie. — M. Castel, président. — MM. Jordan, Hatton de La Goupillière, Rémaury, Brüll, vice-présidents. — MM. Lodin, Ferd. Gautier, Dujardin-Beaumetz et E. Gruner, secrétaires.

Mécanique appliquée. — M. Philipps, président. — MM. Gottschalk, Farcot, vice-présidents. — MM. A. Tresca, Max de Nansouty, Boudenoot, secrétaires.

Accidents du travail. — M. Linder, président. — MM. Ricard, E. Muller, vice-présidents. — M. Gruner, secrétaire. — M. Toqué, secrétaire adjoint.

Participation aux bénéfices. — M. Robert, président. — M. Levasseur, Président honoraire. — MM. Goffinon, Laroche-Joubert, vice-présidents. — M. Dubois, secrétaire.

Travaux maritimes. — M. Bernard E., président. — M. Lavalley, vice-président. — MM. Laroche, J. Fleury, secrétaires.

Utilisation des eaux fluviales. — M. Guillemain, président. — MM. Cotard, Jacquet, vice-présidents. — MM. Beaurin-Greffier, Flamand, secrétaires.

cement nous servira, non seulement pour notre exposition, mais aussi comme lieu de réunion.

Il indique comment ce local va être aménagé et entre dans les détails d'installation, étudiés et approuvés par le Comité. Le prix de l'emplacement est de 30 *f* par mètre carré, soit 2 400 *f* pour la totalité ; en outre, les dépenses d'aménagement, de gardiennage et de toute autre nature, sont évaluées par le comité à 5 000 *f* environ. Ce chiffre ne sera probablement pas dépassé et nous chercherons, au contraire, à ne pas utiliser la totalité du crédit.

M. le Président termine en disant que, pour se conformer au règlement, il demande à l'assemblée de vouloir bien approuver l'ouverture du crédit nécessaire pour couvrir les dépenses occasionnées par l'Exposition de la Société.

A l'unanimité, l'assemblée approuve la demande présentée par M. le Président, et elle autorise le comité à poursuivre l'organisation de l'exposition de la Société.

M. le Président annonce que M. Vigreux est indisposé et ne peut pas venir faire sa communication.

M. Max de Nansouty a la parole pour sa communication sur l'*Unification des méthodes d'essais de résistance des matériaux*, par *M. Svilokossitch*. Il s'exprime ainsi :

Des Congrès techniques au nombre desquels figurent, entre autres, les congrès de *mécanique appliquée*, des *procédés de construction*, des *mines et de la métallurgie*, ont été organisés à l'occasion de l'Exposition universelle de 1889. La Société des Ingénieurs Civils, dont un grand nombre de membres font partie des Comités d'organisation de ces Congrès, y prendra une large et juste part. Leur ensemble constituera le plus utile Congrès du Génie Civil dans toutes ses branches auquel on ait pu songer depuis le commencement de ce siècle, si fertile en progrès et en découvertes auxquelles les Expositions universelles ont permis de prendre un remarquable essor.

Dès que les principes d'organisation de ces Congrès ont été établis et que l'ordre du jour de leurs travaux a été mis à l'étude, une importante question s'est presque simultanément imposée aux préoccupations des organisateurs. C'est celle de *l'unification des méthodes d'essai et de résistance des matériaux*. Elle a été immédiatement retenue par les Congrès de *mécanique appliquée* et par celui des *procédés de construction*.

M. Svilokossitch, Ingénieur civil distingué, saisit de cette question, dès octobre 1888, la section XII de la Commission officielle des Congrès et Conférences de l'Exposition de 1889.

Peu de jours après et guidé, à distance, par des préoccupations techniques analogues, M. Cornut, le savant Ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, se déclarait également disposé à apporter à la discussion de cette question le concours de ses travaux et de son expérience.

D'importants mémoires seront assurément rédigés par ces Messieurs en vue de l'Exposition de 1889 et permettront de fixer les discussions

intéressantes qui ne peuvent manquer de se produire au Congrès international.

Il ne s'agit évidemment pas, en ce qui concerne les Congrès que nous venons de nommer, de légiférer en pareille matière, ni même d'émettre des vœux précis tendant à des mesures définitives. Cette tâche incombe aux Congrès officiels proprement dits, dans lesquels des représentants accrédités des puissances s'entendent pour prendre des engagements réciproques et ont qualité pour rendre ces engagements exécutoires. Les Congrès de l'Exposition de 1889, auxquels la Société des Ingénieurs Civils donne, par son concours, une incontestable valeur, sont avant tout consultatifs : ils élucideront les questions et prépareront le terrain.

Dans le cas qui nous occupe de l'unification des méthodes d'essais, nous croyons savoir qu'un Congrès international, réuni, à bref délai, donnera précisément la sanction aux études qui sont projetées. C'est une incitation de plus aux travailleurs spéciaux dont notre Société compte un si grand nombre à prendre part à ses travaux et à apporter, dès maintenant, un contingent précieux à l'œuvre commune.

M. Svilokossitch l'a bien compris en nous apportant le programme que nous parcourrons ci-après du travail étendu qu'il prépare pour le Congrès de *mécanique appliquée* de l'Exposition de 1889.

Il faudrait n'avoir jamais rédigé de cahiers des charges en France même ou en concurrence avec des constructeurs étrangers et sur des programmes internationaux pour ne pas apprécier combien l'unification des méthodes d'essai des matériaux est une œuvre utile, disons plus, indispensable. Rien n'est plus difficile que de s'entendre en pareille matière et rien ne donne lieu à plus de malentendus, de contestations et de risques. Nos ingénieurs français dans leur tendance naturelle vers la clarté et la simplicité ressentent ce besoin plus que tous autres, et il leur appartient bien de prendre l'initiative de l'unification.

Dans son discours inaugural récent, en montant au fauteuil de la présidence, M. Eiffel, notre Président, nous rappelait tous les nombreux travaux que le Génie Civil français a exécutés à l'étranger et qui sont comme la manifestation puissante de notre activité et de notre expansion nationale. Mieux que tout autre, il pourrait nous dire les difficultés que le constructeur et l'entrepreneur rencontrent pour l'accomplissement de leur tâche, en raison du manque d'unification dans les méthodes de mesure et d'essai. La confusion des langues techniques est un obstacle perpétuel. L'étranger lui-même en souffre et s'en plaint ; il réclame, presque à l'unanimité, notre concours. Le 19 février dernier, à la séance de l'Alliance Française présidée par M. Gréard, assisté de M. Savorgnan de Brazza et du général Parmentier, le général Tcheng-Ki-Tong, chargé d'affaires de Chine, résumait ce désir en ce qui concerne la langue européenne à adopter pour ses compatriotes : « C'est la langue française, disait-il, la plus harmonieuse et la plus claire, qu'ils doivent adopter. Pour les beautés de votre littérature, il n'existe pas de muraille de Chine. »

Nous serions mal venus à ne pas réclamer pour notre Science ce que le général chinois accordait à notre littérature. C'est la France, par les lois du 18 germinal, an III (7 avril 1795), qui donnait l'exemple de cette

admirable simplification qui s'appelle le ***système métrique***. Il lui appartient de généraliser en tous sens cet esprit de simplification qui conduira d'une façon nécessaire à l'unification souhaitée.

En ce qui concerne la résistance des matériaux, l'unification aura de multiples avantages : d'une part, la possibilité de traiter d'une façon nette et précise les conditions d'exécution des travaux les plus divers; d'autre part, la possibilité de réaliser en toute circonstance la sécurité des constructions, charpentes, ponts ou machines, point de vue humanitaire très important.

Cette préoccupation de donner aux constructions des proportions certaines en rapport avec les exigences de la sécurité, prend d'autant plus de valeur que les relations internationales s'accentuent plus. Ne voyons-nous pas cette entente établie d'une façon remarquable entre les Compagnies de chemins de fer de toute l'Europe ? L'exemple y est bien donné et il faut le suivre.

Le besoin de renoncer à un empirisme, dont on pouvait se contenter il y a peu d'années encore, devient pressant. Il a donné lieu à l'invention d'un grand nombre de procédés destinés à faire connaître la valeur et la durée des matériaux mis en œuvre. Ce sont ces méthodes qu'il convient de classer en ne conservant que les meilleures, après les avoir unifiées, et en tenant compte des données récentes de la science sur la ***capacité de travail*** des matériaux, sur la ***répétition des charges***, sur l'***élasticité rémanente***, sur les modifications subies par les matériaux en raison des modes de fabrication nouveaux, sur l'influence des chocs, etc... Il faut de toute nécessité s'entendre pour arriver à des ***résultats comparables*** et sur les moyens de les obtenir par un outillage et une centralisation convenables.

Telle est, à grandes lignes, la thèse soutenue par M. Svilokossitch, et voici le bref résumé de l'étude qu'il a entreprise à ce sujet, avec autant de soin que de compétence.

On peut distinguer deux grandes classes de matériaux de construction : Dans la première viennent se ranger toutes les matières que l'on utilise à l'état naturel de résistance, la main de l'homme ne pouvant apporter que peu ou pas de modification à leurs qualités résistantes. La deuxième classe comprend par contre des matières dont on peut, jusqu'à une certaine limite, accroître ou diminuer la résistance suivant le mode d'emploi de ces matières.

Il en résulte, pour cette dernière catégorie de matériaux, la nécessité d'instituer des épreuves de résistance entre les phases intermédiaires par lesquelles ils passent avant d'être employés dans les constructions.

Cette nécessité est surtout démontrée pour les produits du fer si nombreux, qu'un nouveau classement parait s'imposer. En effet, on peut considérer avec Gruner que l'un de ces produits, l'acier, peut occuper toute la gamme entre le fer doux très pur et la fonte la plus carburée. Il conviendrait de bien caractériser la nature de ces produits intermédiaires, et pour cela, sans négliger les indications fournies par l'analyse chimique, aussi bien à l'état définitif que pendant les diverses phases de la fabrication de ces produits, la meilleure définition serait celle qui donnerait exactement la mesure de leur résistance, de leur allongement

ou de leur contraction, en y comprenant toutefois et jusqu'à nouvel ordre la limite d'élasticité considérée comme une limite de proportionnalité.

Mais si l'on est unanime à considérer la résistance d'une matière à la rupture comme caractéristique de ses propriétés résistantes, on est partagé d'avis en ce qui concerne l'indication de l'allongement à la rupture et de la contraction correspondante. Tandis que les producteurs de métaux ferreux voient dans l'allongement à la rupture la vraie marque de la ténacité des métaux usuels, un certain nombre d'expérimentateurs ont proposé d'introduire dans les cahiers des charges une clause prescrivant un pour cent de contraction pour chaque matière, en se basant sur les conclusions que D. Kirkaldy a tirées de ses nombreux essais sur du fer et de l'acier. Wöhler, en Allemagne, a même fait adopter par l'Union des Chemins de fer allemands que, lors de la réception de matériel de chemin de fer des lignes faisant partie de cette Union, on détermine, pour chaque matière, un nombre dit nombre de qualité donné par la somme de résistance à la rupture par mm^2 de section et de la contraction en pour cent de la section primitive.

Cette exigence a été vivement combattue par les métallurgistes. Il est évident, en effet, que les petits défauts de fabrication (soufflures, pailles, criques, etc.) qu'une pièce métallique peut présenter, malgré tous les soins dont on l'entoure pendant la fabrication, abaissent considérablement la contraction de la matière. Et si, comme l'a reconnu le rapporteur du Congrès des Métallurgistes allemands tenu à Dusseldorf en 1883, cette clause des cahiers des charges a contribué dans une certaine mesure à perfectionner les méthodes de fabrication des matières homogènes, elle n'en est pas moins très préjudiciable aux intérêts des producteurs. D'autre part, les consommateurs eux-mêmes ont reconnu dernièrement que des essais aux chocs sont absolument indispensables pour juger de la qualité d'une matière exposée aux charges brusques pendant le service (rails, essieux, bandages, etc.).

Pour concilier les deux intérêts contraires des producteurs et des consommateurs, un expérimentateur suisse, M. Tetmajer, directeur du laboratoire d'essais de Zurich, a proposé de prendre pour mesure de la ténacité d'une matière sa capacité de travail exprimée par la formule suivante :

$$x = \frac{T}{L\,S},$$

dans laquelle T est le produit de l'effort de rupture par l'allongement sur 100 *mm*, L la longueur primitive et S la section primitive de la barre d'essai. Cette manière de voir est adoptée en principe par la Société des Ingénieurs et Architectes suisses, et semble devoir être prise pour base d'un classement officiel des produits ferreux employés en Suisse. Mais, quoique théoriquement très rationnelle, elle présente un défaut, c'est de faire entrer dans la détermination de la qualité d'un produit métallurgique des coefficients variant avec les progrès de l'industrie et d'exiger en outre un accord préalable entre les producteurs et les consommateurs, accord qui n'est pas toujours aisé à réaliser.

On a vu que dans ces différentes méthodes de détermination de la qualité d'une matière, on fait abstraction de la limite d'élasticité, et

cependant la plupart des formules de la résistance des matériaux ne sont applicables que lorsque cette limite n'est pas dépassée. La raison qui a fait abandonner l'indication de la limite d'élasticité doit être recherchée surtout dans la difficulté où l'on se trouve le plus souvent de la définir exactement. En se tenant à la définition classique (c'est-à-dire au point où les allongements cessent d'être élastiques), on peut se convaincre facilement que plus les machines d'essai des matériaux seront perfectionnées, plus ce point sera reculé vers zéro. En effet, pour beaucoup de matières ductiles, l'allongement permanent peut être obtenu par l'application des charges relativement faibles. (1)

De plus la limite d'élasticité varie avec la section des barrettes; elle est plus grande pour les barres de section ronde que pour celles de section carrée. D'autre part, les métaux cassants n'ont pas de limite d'élasticité, ou plutôt elle est très voisine de la résistance à la rupture. Mais, dans ce dernier cas, la non-existence de la limite d'élasticité ne présente pas d'inconvénients puisqu'on ne fait jamais travailler les matières cassantes à l'extension.

Il est donc plus important de se préoccuper de la fixation de l'effort correspondant à la limite d'élasticité pour les métaux ductiles, en déterminant, pour chacun d'eux, une sorte de limite d'élasticité idéale mais assez peu élevée pour qu'on puisse rendre le rapport entre cette limite et le coefficient de résistance de la matière assez voisin de l'unité. Cette limite d'élasticité peut être considérée comme correspondant à l'allongement élastique maximum.

Un autre point important de la question qui nous occupe c'est la manière dont se comportent les matériaux lorsqu'on leur applique des charges répétées un grand nombre de fois. Malgré les belles expériences de Fairbairn, Wöhler, Bauschinger et de M. Considère, un grand nombre de problèmes qui se rattachent à cette question attendent encore leur solution. Nous n'en parlerons donc que pour mémoire, de même que de la question de la durée des expériences et de l'application de la charge ainsi que de la propriété de la matière qu'on a appelée *l'Elasticité rémanente*. Nous pouvons ajouter, pour être complet, qu'il reste encore à élucider la question concernant les modifications de résistance dues aux manipulations mécaniques auxquelles on soumet les métaux pendant leur fabrication (2).

D'après ce qui précède, on voit que le champ de recherches expérimentales en vue de la détermination des qualités résistantes des matériaux de construction est encore assez vaste et qu'il devient de plus en plus indispensable d'avoir des méthodes d'essai fournissant des résultats comparables. Or de quoi dépend en réalité la valeur des résultats d'un essai? En faisant abstraction de l'habileté de l'expérimentateur et

(1) Dans une remarquable discussion qui a eu lieu en 1884 devant la Société des Ingénieurs Civils, on s'est beaucoup occupé de la fixation du rapport entre la limite d'élasticité et le coefficient du travail de l'acier; on y trouve mention de cette particularité, que les essais les plus minutieux donnent la limite d'élasticité la plus basse.

(2) Nous envisageons, dans ce qui va suivre et pour fixer les idées, les expériences à l'extension du fer et de l'acier, mais la plupart des considérations émises peuvent être appliquées aux autres esssais des métaux usuels ainsi qu'à ceux des bois, des ciments, etc.



de la bonne construction des machines d'essai, on peut indiquer les points suivants qui doivent être observés pour qu'une expérience puisse donner des résultats utilisables.

1° *Longueur de la barrette d'essai.* — On est unanime à considérer aujourd'hui que, pour un genre d'expériences bien défini et sur des matières semblables de forme et de fabrication (fers ronds et tôles d'une part, métal misé et métal fondu d'autre part), la longueur des barrettes d'essai doit être la même dans tous les cas. Il suffit de renvoyer au beau mémoire présenté par M. Barba à la Société des Ingénieurs civils en 1880, pour n'avoir pas à insister sur ce point. Ajoutons seulement que la plupart des expérimentateurs proposent l'adoption d'une longueur utile de 200 *mm* de la barrette, longueur sur laquelle on peut aisément mesurer les allongements.

2° La *section des barrettes* ne peut pas être rendue uniforme; on peut se contenter de la faire varier entre certaines limites pour les fers ronds ou pour les tôles et les fers profilés. Dans tous les cas, il est indispensable d'indiquer dans les tableaux donnant les résultats d'essais la section des barrettes, indication qui est souvent omise par les expérimentateurs.

3° Des précautions spéciales doivent être prises lors de la *préparation des barrettes* d'essai. On les découpe aujourd'hui presque uniquement à l'aide de machines-outils, tandis qu'autrefois, on se contentait souvent de les forger quand il s'agissait, par exemple, des fers ronds. Dans les fers profilés, on ne doit jamais découper les barrettes dans les parties qui ne travaillent pas (les âmes des fers à I, par exemple), et il faut toujours laisser subsister la couche extérieure du laminage.

4° La manière dont les *barrettes sont maintenues* dans la machine d'essai a donné lieu à beaucoup de discussions.

Pour les tôles et les barrettes plates en général, le seul mode rationnel de fixation consiste à élargir les barrettes vers les deux extrémités et à percer à chaque bout un trou dans lequel on introduit le boulon de fixation. Pour les barrettes rondes on peut se servir soit de coins, soit de têtes taraudées (ce dernier mode est adopté par les Conférences de Munich et de Dresde pour l'unification des méthodes d'essais). Mais dans tous les cas, il faut que l'effort d'extension ou de compression agisse suivant l'axe géométrique de la barrette. Cette précaution est rendue assez facile en donnant aux extrémités de la barrette la forme demi-sphérique. Lorsqu'on omet d'observer cette précaution, la moindre excentricité de l'effort peut produire un moment de flexion qui vicie complètement le résultat de l'essai, et nous ne croyons pas nous avancer trop en attribuant à ce fait la plupart des discordances que l'on trouve parfois dans les résultats d'essais dus aux mêmes expérimentateurs.

D'autres circonstances peuvent encore influer sur l'exactitude des résultats d'essais. Mais nous n'avons pas la prétention de les énumérer dans une aussi courte note. Nous ne parlerons donc que pour mémoire des différents essais de pliage, de trempe, de poinçonnage, etc., qui varient souvent avec les cahiers des charges imposés aux constructeurs. Arrêtons-nous cependant quelques instants sur les essais aux chocs.

En Suède, le bureau métallurgique officiel et renommé le « Jern-

kontor » prescrit toujours des essais aux chocs pour qu'on puisse se rendre un compte exact de la valeur des produits ferreux.

D'ailleurs, en France, les grandes Compagnies de chemins de fer, la Marine, les services dépendant du Ministère de la guerre etc., sont entrés depuis longtemps dans cette voie (1). Mais ce qui a jeté un certain discrédit sur les résultats des essais aux chocs, c'est la manière assez primitive dont on exécute ces essais dans la plupart des laboratoires. On a toujours considéré que ces essais devaient être faits avec une certaine hâte et, pour ainsi dire, en bloc. Et cependant, outre les considérations théoriques très importantes qui en font une véritable nécessité, ces essais exécutés sur un petit nombre d'échantillons donnent souvent des indications très préjudiciables aux intérêts des constructeurs. Ajoutons qu'on a cru à tort devoir abandonner ces essais pour le cas de réception de poutres entrant dans la construction des ponts et charpentes métalliques.

Nous venons de citer une autorité en matière d'essai de produits métallurgiques. Les travaux « du Jernkontor » ont en effet jeté une vive lumière sur beaucoup de points concernant la fabrication et la résistance du fer et de l'acier. Rappelons que ce Bureau du fer est placé sous le contrôle de l'Administration publique et jetons un coup d'œil sur les organisations similaires des autres pays.

Mais, auparavant, qu'il nous soit permis de rendre justice à une création due entièrement à l'initiative privée; nous voulons parler du laboratoire d'essais dirigé avec tant de compétence par M. David Kirkaldy, de Londres. L'existence de ce laboratoire, et les travaux qui y sont exécutés, sont la meilleure preuve de ce que peut l'initiative d'un seul homme secondée par le concours éclairé des producteurs et des consommateurs du fer et de l'acier.

Il serait pourtant téméraire de se reposer uniquement sur le bon vouloir et le désintéressement des expérimentateurs pour arriver à constituer un laboratoire d'essais assez indépendant pour servir d'arbitre dans les questions litigieuses et assez bien dirigé et pourvu de moyens d'action suffisants pour entreprendre des essais dans un but purement scientifique. Aussi, voyons-nous que dans beaucoup de pays, on a créé des laboratoires d'essais dépendant d'une École technique (c'est le cas de presque tous les laboratoires anglais et de quelques laboratoires allemands, autrichiens et russes, ainsi que du laboratoire fédéral de Zurich), ou bien on a organisé un service spécial sous le contrôle direct de l'État. Il est certain qu'à beaucoup de points de vue, ceux entrant dans la première catégorie nous paraissent préférables aux laboratoires de la seconde catégorie, quoique les nécessités résultant d'un enseignement public soient souvent incompatibles avec la marche des travaux entrepris en vue de la solution des questions scientifiques.

En France, il existe à notre connaissance, outre les nombreux laboratoires des Compagnies de chemins de fer, de la Marine, de l'Adminis-

(1) Nous avons déjà dit plus haut que l'Union des chemins de fer allemands n'a pas voulu se servir uniquement de l'indication du nombre de qualité ainsi que cela lui avait été proposé. La Direction de cette Union vient de publier un règlement concernant les essais aux chocs et obligatoire pour toutes les Compagnies faisant partie de l'Union. Ce règlement doit entrer en vigueur à dater du 1er juillet 1890.

tration de la guerre et de la plupart des établissements métallurgiques, un laboratoire d'essais à l'École des Ponts et Chaussées, mais dans lequel on n'exécute que des expériences sur les ciments, pierres, etc. Tout au moins nous ne connaissons pas de résultats d'essais faits sur des métaux dans ce laboratoire.

Le Conservatoire des Arts et Métiers possédait aussi un laboratoire d'essai, d'où sont sortis les travaux bien connus de M. Tresca sur l'écoulement des solides. Encore, cet habile expérimentateur a-t-il dû souvent recourir à la libéralité des Compagnies de chemins de fer pour pouvoir faire des essais pour lesquels les modestes ressources de son laboratoire étaient insuffisantes.

On a déjà proposé de centraliser en un seul tous les laboratoires d'essais des grandes Compagnies de chemins de fer établis à Paris (1). Cette proposition n'a obtenu aucun succès, probablement parce que le sacrifice d'autonomie qui en résulterait pour chacune des Compagnies ne serait pas suffisamment compensé par les résultats généraux qu'on pourrait obtenir grâce à cette centralisation. En effet, les Compagnies de chemins de fer visent surtout à assurer un contrôle judicieux de la fabrication et de la réception du matériel qui leur est fourni par les usines et les constructeurs. Si, cependant, de beaux travaux ont pu être exécutés dans ces laboratoires, on doit mettre ce fait à l'actif de la libéralité des Compagnies, et surtout au zèle de leurs agents. Il en est de même en ce qui concerne la Marine et l'Administration de la guerre, et nous constatons avec plaisir que ces Administrations n'ont jamais marchandé leur concours aux Ingénieurs désireux de faire œuvre utile pour l'industrie métallurgique. Enfin, partout où l'amélioration des produits métallurgiques a créé le besoin d'une étude expérimentale, les métallurgistes et les Ingénieurs ont rarement séparé la nécessité du moment de la recherche d'un but plus élevé. Si nous omettons de citer des noms, c'est qu'ils sont dans la mémoire de tous et la Société des Ingénieurs Civils a été souvent la première à connaître les travaux des expérimentateurs dont il s'agit.

M. Svilokossitch conclut à la création d'un laboratoire central d'essais des matériaux, placé sous le contrôle de l'État ou rattaché à l'un des établissements dans lesquels s'enseigne la Science de l'Ingénieur.

Il rappelle, à ce sujet, les conclusions d'un remarquable rapport de mission rédigé par M. Flamant, Ingénieur des Ponts et Chaussées, professeur à l'École Centrale, et publié dans le numéro de mai 1886 des Annales des ponts et chaussées.

Pourvu des moyens de recherche et d'investigation nécessaires, pour les essais pratiques, se prêtant aux études de longue haleine, un laboratoire de ce genre rendrait certainement de sérieux services pour l'unification si désirable des méthodes d'essai des matériaux de construction.

On ne peut, croyons-nous, que s'associer à ce souhait, à la réalisation duquel les Congrès techniques de l'Exposition universelle de 1889 apporteront, nous sommes en droit de l'espérer, un précieux concours. Une question bien posée devant des hommes de science et de progrès, réunis

(1) En Allemagne, la direction gérante de l'Union des chemins de fer centralise tous les ans les résultats d'essais faits lors des réceptions du matériel de chemin de fer fournis par les différentes Compagnies.

par d'heureuses circonstances, est dès le principe à moitié résolue. *(Applaudissements prolongés.)*

M. Polonceau ne partage pas l'avis exprimé par M. de Nansouty dans ses conclusions, en ce qui concerne les mérites du laboratoire unique qu'il propose. C'est une question qu'il a étudiée depuis bien longtemps; la solution indiquée aujourd'hui a été proposée il y a quelques années en Autriche, où il se trouvait alors, et tous les industriels et ingénieurs l'ont combattue. Le jour où l'État aurait créé ce bureau unique d'essais, le rôle de l'Ingénieur sera considérablement amoindri. On détruirait en même temps toute idée de progrès. Il faut laisser à chaque ingénieur, à chaque industriel, à chaque constructeur, le soin d'employer les matériaux de construction dans les conditions qui lui paraissent les meilleures. Par l'établissement d'un bureau d'essais unique, on supprimerait tout progrès et la responsabilité de l'Ingénieur n'existerait plus.

Quand un accident aurait lieu, l'ingénieur ou le constructeur soutiendrait qu'il échappe à toute responsabilité : j'aurais pris de l'acier à 45 *kg*, dirait-il par exemple, et il n'y aurait pas eu d'accident, tandis que l'on m'a imposé de l'acier à 60 *kg*. En pareil cas, qui sera responsable? Est-ce le bureau d'essai, est-ce l'ingénieur? *(Très bien! très bien!)*

Il estime que l'opinion émise par M. Svilokossitch doit être combattue par tous les moyens possibles, et il engage vivement tous les Ingénieurs à s'opposer à l'unification des essais par des bureaux placés sous la surveillance de l'État. Nous avons tort de trop compter sur l'État et de rejeter sur lui toutes les fautes ou les causes d'insuccès. *(Marques d'approbation.)* Nous devons faire nos affaires nous-mêmes, et en les faisant bien, nous n'aurons de reproche à adresser à personne. *(Applaudissements.)*

Les conclusions du rapport qui vient d'être lu tendent à établir qu'avec l'unification des méthodes d'essais des matériaux, on arriverait à établir une formule qui permettrait, pour ainsi dire, de supprimer tous les accidents ; c'est une erreur. Les constructeurs et les ingénieurs, qui ont l'expérience de ces essais, savent qu'ils ne trouvent dans ces expériences de résistance qu'une indication, une probabilité, mais non une certitude. On remarque souvent que des matériaux de même nature, travaillés dans des conditions identiques, ont des coefficients de résistance et d'allongement bien différents ; quelle en est la cause? On l'ignore. Ainsi, l'acier déphosphoré s'allonge beaucoup, et néanmoins, dans certaines circonstances, il casse comme du verre ; on n'en connait pas la cause. Dans bien des cas, les faits sont en contradiction avec la théorie, si on peut dire qu'il y a une théorie en semblable matière.

La qualité d'un métal dépend non seulement de la manière dont il est travaillé, mais encore d'un nombre infini de circonstances. Ainsi, dans les chemins de fer, on a l'habitude, pour les essais de bandages, de prendre les éprouvettes dans le boudin ; or, les métallurgistes, qui connaissent ce fait, disposent leurs lingots de façon que le métal de qualité supérieure se trouve à l'endroit où l'on prend l'éprouvette. On pourrait citer bien d'autres causes qui font que, si les essais réussissent, on a la probabilité d'avoir un métal de la qualité demandée, mais non la certitude. Le résultat à poursuivre par les essais, c'est d'obtenir que les

usines métallurgiques fabriquent couramment des matériaux de qualité déterminée.

Pendant son séjour en Autriche, il a cherché avec un ingénieur autrichien, M. Jenny, le savant professeur de l'École polytechnique de Vienne, à se rendre compte de la qualité des tôles de chaudières, au moyen du poinçonnage. Ordinairement pour faire les essais des tôles, on prend un morceau sur le côté dans lequel on découpe l'éprouvette ; ce mode de procéder ne donne certainement pas une indication précise, car ce morceau peut être bon ou médiocre sans que le reste de la tôle ait la même qualité ; tandis que si, par le poinçonnage, on pouvait éprouver la qualité, on aurait un nombre bien plus considérable d'épreuves pour une même feuille de tôle et, par suite, de plus grandes certitudes sur la qualité de cette feuille de tôle. Ils espéraient, en poinçonnant des trous d'un diamètre plus faible que celui des trous destinés au passage des rivets ou boulons, trouver une loi d'après la résistance, la nature de l'emboutissage qui se produit toujours un peu, etc. Malheureusement ces expériences, poursuivies pendant plusieurs années, n'ont pu aboutir à quelque chose de pratique.

Il termine ses observations sommaires sur le rapport de M. Svilokossitch, qu'il ne connaissait pas, en disant qu'il faut chercher à unifier les moyens de mesure, mais ne pas en déduire que l'on arrivera à construire des appareils sans ruptures possibles ; surtout il ne faut pas mêler l'État à ces questions, car ce serait supprimer tout espoir de perfectionnements : l'État ne peut pas, en effet, rechercher constamment de nouvelles méthodes. Quand il a adopté une loi, il ne les modifie ou ne les améliore que bien difficilement *(Très bien ! — Applaudissements prolongés.)*

M. Dallot croit que tout le monde s'unira à M. Polonceau pour proclamer qu'aucune autorité n'a le droit de porter atteinte à la libre responsabilité de l'ingénieur chargé d'une construction. C'est une doctrine qui a toujours été énergiquement défendue dans cette Société. M. Polonceau a, en outre, très judicieusement observé que les épreuves de résistance sont loin de donner la certitude que les matériaux possèdent les qualités requises pour l'usage auquel on les destine. Il n'en est pas moins vrai que ces essais constituent toujours pour l'ingénieur un élément d'appréciation des plus importants. Il a été à même de constater que bien souvent les épreuves de résistance étaient effectuées dans des conditions d'exactitude insuffisantes ; et quoique, depuis quelques années, les appareils servant aux essais à la rupture aient reçu de notables perfectionnements et les expériences soient conduites avec plus de méthode et de précision, il pense néanmoins qu'il existe bien peu d'ateliers en France dans lesquels on puisse déterminer avec une précision suffisante les coefficients relatifs aux propriétés élastiques des métaux, coefficients qui ont dans son opinion plus d'importance que le coefficient de rupture.

Il serait donc peut-être utile que des établissements spéciaux, pourvus des machines les plus perfectionnées et les plus précises, et d'un personnel possédant une grande pratique de ces sortes de manipulations, fussent à la disposition des industriels dans les principaux centres.

Les directeurs de pareils établissements devraient être, cela va sans

dire, des hommes d'une science et d'un mérite supérieurs! Il suffira de mentionner les noms de M. Tresca en France, de M. Kirkaldy en Angleterre, pour faire comprendre les services que la science du constructeur pourrait en retirer par suite du lien théorique qu'il serait possible d'établir entre les résultats d'un nombre considérable d'essais. Par-dessus tout, comme l'a si excellemment déclaré M. Polonceau, l'intervention de l'Etat en cette matière devrait être absolument repoussée. Car il aurait la prétention d'imposer ses méthodes, ses principes et ses doctrines, qui ne seraient peut-être pas orientées dans la direction du progrès et qui en tout cas porteraient une atteinte funeste à la liberté de l'Ingénieur. Ce dernier doit être seul juge des conditions que doivent remplir les matériaux qu'il emploie. C'est lui qui doit fixer la nature des essais, en déterminer le programme. L'expérimentateur doit se borner à les suivre fidèlement et à répondre avec exactitude et netteté. Voilà comment procédaient les Ingénieurs illustres qui ont fondé cette Société, transformé l'art des constructions et donné à notre pays la première place dans l'essor prodigieux imprimé à l'industrie moderne.

M. Polonceau dit qu'il existe aujourd'hui, dans les principaux établissements industriels, et notamment dans les Compagnies de chemins de fer, des installations pour essayer la résistance des matériaux, qui sont très complètes. Il n'y a pas à l'étranger d'installations mieux organisées que chez nous. Quant à l'utilité de ces essais, elle n'est contestée par personne; mais, ce qu'il a critiqué, c'est que le résultat de ces essais soit rigoureux. Le constructeur, le fabricant, l'ingénieur y trouvent des indications très précieuses, des probabilités très grandes, mais non des garanties absolument certaines; et la preuve, c'est qu'on n'emploie jamais dans les constructions les métaux jusqu'à la limite d'élasticité : on reste bien au-dessous.

M. Pesce dit qu'il n'a pas qualité pour défendre le mémoire de M. Svilokossitch; mais il croit que, puisqu'il y a une controverse et que l'auteur n'est pas présent pour défendre son mémoire, il y aurait lieu de fixer la discussion à une séance ultérieure à laquelle on convoquerait l'intéressé et les personnes qui pourraient apporter des renseignements utiles sur cette question.

M. Euverte dit qu'il y a un point, sur lequel tout le monde est d'accord et que M. Polonceau a très bien indiqué, c'est que l'État ne doit pas être chargé de ces essais. A son avis, la seule conclusion qu'il y ait à tirer du mémoire de M. Svilokossitch, c'est qu'il y a là un programme de questions à étudier au Congrès. Or, nous ne sommes pas au Congrès, et en ce qui le concerne il ne croit pas qu'il y ait lieu de prolonger la discussion. Un point sur lequel on pourrait insister, et qui lui paraît capital, c'est d'uniformiser, non pas les conditions de l'essai, mais les conclusions à tirer des essais, car aujourd'hui les industriels français sont pendus à un grand nombre de potences. On leur demande des barrettes dont les dimensions, la forme, les coefficients d'allongement ou de résistance varient avec chaque demandeur, et comme il faut arriver à obtenir le même résultat, il y a là un trouble grave dans les idées. Si le Congrès pouvait arriver non pas à résoudre la question, parce

qu'elle est très difficile, mais à déterminer la meilleure longueur et la meilleure section, si le Congrès pouvait arriver à fixer ce point, il aurait rendu un grand service. Aujourd'hui, la Société n'est guère en mesure de discuter la question, et il croit qu'il vaut mieux la renvoyer au Congrès. *(Applaudissements.)*

M. Polonceau dit que la question est si importante qu'il tient encore à présenter quelques observations. Il ne partage pas l'avis exprimé par M. Euverte d'uniformiser les moyens, les procédés d'essai, de manière à uniformiser tous les essais dans les usines. Il faut laisser le champ libre aux essais divers et, par conséquent, on ne peut uniformiser les épreuves. Il croit que les essais ne donneront jamais des indications absolues, mais seulement des probabilités ; il est tout à fait d'avis d'uniformiser tout ce qui peut l'être sans porter atteinte aux expériences et au progrès.

Il a écrit à M. Cornut qui proposait la réunion d'un congrès spécial pour l'étude de ces questions, lui disant que les congrès divers pourraient les étudier, nommer des délégués et que, dans un an, ces délégués pourraient présenter des propositions tendant à établir une certaine uniformité.

C'est ainsi qu'il serait utile d'uniformiser les éprouvettes, leur section, etc...

M. Badois remarque que l'on a dit peu de chose sur le fond du mémoire de M. Svilokossitch. L'essentiel serait que l'on eût un moyen de comparaison des résultats donnés par les essais de matériaux faits dans les différents ateliers, même dans les différents pays, et pour cela le mémoire fournit de bons éléments.

Quant à uniformiser les méthodes d'essais, il croit que c'est un beau rêve, mais que ce n'est qu'un rêve. M. Dallot, d'accord avec M. Polonceau sur ce point, disait tout à l'heure qu'il ne faut pas avoir un laboratoire unique et central dirigé par l'État. Cela n'est pas à craindre en France, parce que toutes les Compagnies de chemins de fer, tous les ingénieurs veulent avoir leur atelier spécial d'essais ; quelquefois même, chaque service d'une Compagnie veut avoir un atelier spécial, et telle machine employée, par exemple, à la Traction n'est pas considérée comme bonne pour le service de la Voie ou celui de la Construction.

M. Dallot parait ignorer qu'il y a, à Paris, un laboratoire d'essais, fondé par M. Thomasset, où les ingénieurs peuvent faire des expériences. Ce laboratoire n'a pas la prétention d'imposer sa manière de faire, mais il en a une fondée sur l'expérience, qui est appréciée par les ingénieurs qui lui confient des essais, soit pour des expertises, soit pour des recherches ; jamais les Compagnies ne s'y sont adressées.

Le service des Ponts et Chaussées établit en ce moment un laboratoire où l'on ne s'adressera en réalité que pour avoir des essais gratuits. Il y en a aussi un au Conservatoire des Arts et Métiers ; mais on y va rarement. En résumé, chaque ingénieur chargé d'un service important veut en principe avoir son installation particulière et faire ses essais comme bon lui semble. C'est ce qui d'après M. Badois s'opposera à l'uniformisation des méthodes pour l'essai des matériaux.

M. Mayer demande à faire quelques observations au sujet de ces ateliers d'expériences qu'on met au service de chaque ingénieur. Une machine d'essais ou un atelier d'essais n'est pas seulement fait pour perfectionner la fabrication du métal, mais il a aussi pour but de perfectionner la forme des pièces qu'on doit employer ; et il est bien certain que, en améliorant la forme d'une pièce, on augmente en même temps (le métal restant le même) la durée de cette pièce.

On pourrait citer bien des exemples où le même métal a produit une durée plus considérable, parce que la pièce était mieux établie. Il est donc important que chacun puisse faire exécuter sous ses yeux les essais qu'il a à faire, non seulement pour obtenir des indications sur le métal dont il veut se servir, mais encore pour se rendre compte de la meilleure forme qu'il faut donner aux pièces.

M. Contamin dit que les essais prescrits par les Compagnies de chemins de fer ne présentent pas les divergences qu'on leur attribue. Tout au contraire, elles cherchent à être d'accord, et il y a une grande similitude dans les cahiers des charges. Si l'on compare ceux des Compagnies de Lyon, de l'Est, du Nord, on remarque que ces Compagnies s'entendent le plus souvent pour demander que les essais soient faits dans les mêmes conditions, non seulement en ce qui concerne la traction, en prescrivant des éprouvettes uniformes, mais aussi pour les autres essais complémentaires de pliage, de perforage et autres. Les essais au mouton, pour les fontes, sont faits dans toutes les Compagnies avec un appareil identique; il en est de même des essais à la flexion pour lesquels elles imposent toutes l'appareil de Monge. Pour les rails, enfin, les appareils et les procédés d'essais sont également les mêmes.

Il lui semble donc facile de s'entendre pour arriver à ce que les essais soient faits dans des conditions uniformes.

M. Polonceau dit que quand on parle de l'uniformisation des procédés, cela veut dire uniformisation des dimensions des éprouvettes, de la vitesse de l'essai; mais on n'a jamais voulu dire que chacun devra employer les matériaux dans les mêmes conditions.

Actuellement, il essaye des bandages de 70 à 75 *kg* de résistance, 15 à 12 0/0 d'allongement et 30 0/0 de striction; ces bandages ont une épaisseur bien plus considérable que ceux employés précédemment : il est donc bien obligé, pour les essais au choc, d'augmenter la hauteur de chute du mouton : il ne peut pas y avoir uniformité.

De semblables essais ne se font pas en un mois, en un an; c'est seulement après dix ans de tentatives que l'on peut savoir s'il faut continuer.

Il y a des motifs qui justifient les différences qui existent entre les procédés d'essais du matériel et de la traction et ceux de la voie ou de la construction. D'abord, les matériaux sont généralement différents et, d'un autre côté, les services à leur demander ne sont pas les mêmes. Il est évident que l'on fera travailler davantage le métal dans une machine que dans un pont.

En France, les rails sont durs et les bandages sont doux, tandis qu'en Allemagne, c'est le contraire, les bandages sont durs et les rails doux.

Tout à l'heure un de nos collègues faisait remarquer que, pour les chaudières, les uns et les autres ont des formules différentes ; cela prouve une chose, c'est qu'on peut faire de bonnes chaudières avec de l'acier à 60 *kg*, 45 *kg* et 40 *kg*. A son avis, il vaut mieux prendre du métal doux, mais il y a des chaudières en métal dur qui résistent depuis longtemps et font un excellent service. Il n'y a pas de formule absolue à cet égard-là.

M. Euverte demande à compléter les explications qu'il a présentées. A l'Exposition de 1878, il y avait un fabricant anglais qui avait exposé de l'acier présentant un allongement de 60 0/0. La barrette avait 5 *cm* de longueur ; il n'était pas difficile, dans ces conditions, d'arriver à 60 0/0 d'allongement ; mais il y a certainement là une erreur d'appréciation sur la qualité du métal. En ce moment, les grands établissements français, les chemins de fer, la marine, l'artillerie, les ponts et chaussées n'agissent pas de la même manière ; de sorte que, quand on parle d'acier à 20 0/0 d'allongement, il est important de savoir s'il s'agit d'essais pratiqués avec une barrette de 10 ou 20 *cm* de longueur.

M. Polonceau dit que tout le monde est d'accord sur ce point.

M. de Laharpe dit qu'il paraîtra peut-être bien téméraire, mais il estime que les essais ne se font pas dans de bonnes conditions. On essaie la propriété d'un métal vierge ; or, ce qu'il importe de connaître, ce n'est pas la propriété du métal vierge, mais la propriété du métal travaillé. Si l'on considère le métal d'une chaudière, qu'importe que la tôle ait telle ou telle élasticité si les pièces, une fois forgées et assemblées, n'ont plus les mêmes propriétés. Il croit qu'il vaut mieux faire les essais sur les pièces finies, forgées, cintrées, et non pas sur des métaux sortant du laminoir. A ce sujet, il se propose de présenter prochainement à la Société les études qu'il a eu occasion de faire sur la résistance et l'élasticité des chaudières entièrement terminées.

M. Polonceau dit qu'il n'a jamais entendu mettre en doute l'importance des essais pratiques. Dans les cahiers des charges des Compagnies de chemins de fer notamment, il est dit que les tôles doivent subir dans de bonnes conditions certains essais pratiques déterminés, mais on ne peut pas faire ces essais pratiques sur toutes les feuilles de tôle ; tandis que l'on peut prendre des éprouvettes sur toutes les feuilles, si on le croit nécessaire. Ces deux séries d'essais marchent de front : l'une ne doit pas exclure l'autre, attendu que les essais pratiques sont sujets aussi à erreur et qu'ils varient beaucoup, suivant l'habileté de l'ouvrier essayeur.

M. Casalonga dit qu'aux Congrès qui vont se réunir il y aurait intérêt à reprendre, en ce qui concerne les pas de vis, la question d'unification de mesure dont on s'est occupé en 1878.

On fait aujourd'hui usage de vis, de pas différents, et il serait fort utile d'avoir un pas uniforme.

M. Polonceau répond que cette question est à l'étude entre toutes les Compagnies de chemins de fer, qui cherchent à s'entendre pour faire adopter un type uniforme de pas de vis ; c'est une question difficile, mais non impossible à régler que les Compagnies de chemins de fer, comme les industriels et constructeurs, ont grand intérêt à voir aboutir.

M. le Président remercie M. Max de Nansouty de l'importante communication qu'il a présentée et qui a donné lieu à une discussion intéressante.

Nous n'avons pas à discuter cette question dans tous ses détails; c'est le rôle du Congrès. Il est nécessaire de s'y préparer, car beaucoup de membres de la Société sont très compétents pour présenter sur ce sujet d'utiles indications; il est indispensable de s'y préparer à l'avance parce qu'il s'agit de questions trop sérieuses pour en improviser la solution.

La communication de M. de Nansouty aura eu l'avantage d'appeler notre attention sur cette importante question qui sera discutée au *Congrès de la mécanique* et au *Congrès des procédés de construction* dont il fait partie ainsi que M. Contamin et où il a l'intention de traiter la question pour les constructions métalliques, dont il serait fort utile d'uniformiser les modes d'essais.

Quant à lui, il attache peu d'importance à l'essai à la machine; il préfère avoir recours à des essais de façonnage, et, à son avis, rien ne vaut l'essai au marteau.

Pour quelqu'un qui en a l'habitude, la façon dont le métal se plie ou se brise fournit des indications qu'aucune machine ne peut donner.

Dans les Compagnies de chemins de fer les méthodes d'essais n'ont pas l'uniformité qu'indique M. Contamin.

En pratique, les essais auxquels on soumet les fers sont bien moins précis que ceux des aciers. De plus pour l'essai d'un fer, ce n'est ni l'allongement, ni le poids auquel il résiste qui sont réellement importants; mais c'est au contraire la façon dont il se plie ou se comporte sous le marteau; l'essai à la traction ne donne que des renseignements insuffisants. A son avis, il serait fort utile d'avoir un laboratoire central, où les essais seraient faits d'une manière rationnelle et comparative.

Les industriels peuvent faire leurs essais dans leurs ateliers, mais si on a un procès, il faut recourir à un laboratoire spécial, où les essais sont dirigés par les experts, qui peuvent ne pas être très au courant de ces questions spéciales. Il serait à désirer qu'il y eût, soit aux Ponts et Chaussées, soit au Conservatoire des arts et métiers, un laboratoire présentant toute sécurité, et que le chef de ce laboratoire pût décider qu'un métal qui lui est soumis est propre à la construction de tel ou tel ouvrage : chaudières, ponts, essieux, bandages, etc., suivant les conditions du cahier des charges.

Il pense qu'il est à désirer qu'il y ait, d'une part, la plus grande uniformisation possible dans les cahiers des charges, et que, d'autre part, les essais puissent se faire dans quelque laboratoire inspirant confiance. Il serait fort utile d'avoir un bureau central, comme pour les poids.

Dans les ateliers, il n'est pas nécessaire d'avoir des machines très perfectionnées pour faire les essais; car les variations sont tout au plus de 1 *kg* et cela n'influe pas beaucoup sur la qualité du métal, et n'a d'importance que dans les questions contentieuses. Les questions soulevées par la communication de M. de Nansouty présentent un ensemble qui pourrait être exposé fort utilement au Congrès; mais, aujourd'hui, il paraît inutile de prolonger la discussion sur ce sujet.

M. Contamin demande à expliquer les différences qui sont signalées comme existant entre les cahiers des charges des Compagnies ; elles ne sont qu'apparentes. Tous ces cahiers des charges dérivent en effet de celui étudié et promulgué, en 1867, par la marine ; la Compagnie du Nord, ayant à tenir compte des conditions dans lesquelles se trouvaient alors les forges laminant dans sa région les fers du commerce, a simplement consenti, pour faciliter cette fabrication, à ramener à 6 0/0 l'allongement de 9 0/0 stipulé dans le cahier des charges de la marine.

M. le Président dit que l'on peut clore la discussion, ou plutôt cette ébauche de discussion ; car, si on voulait approfondir l'étude de cette question, il faudrait la mettre à l'ordre du jour et un grand nombre de nos collègues ne manqueraient pas de présenter des observations utiles sur un sujet qui nous intéresse tous.

Il croit cependant qu'il serait préférable d'ajourner cette discussion et d'en laisser l'étude au Congrès. *(Approbation unanime.)*

Des idées générales seront émises par des personnes qui ne sont pas habituées à être dans le même courant d'idées que nous. Aussi, il vaudra mieux que nous examinions cette question ici, après qu'elle aura été étudiée par le Congrès, qui nous fournira des renseignements dont nous pourrons profiter. L'ampleur de la discussion qui vient d'avoir lieu montre d'ailleurs l'importance considérable que prend cette question, pour le progrès des constructions en général.

L'heure est trop avancée pour entendre la communication de M. Pauly ; elle sera remise à la prochaine séance.

Séance du 15 mars 1889.

Présidence de M. V. Contamin, Vice-Président

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de M. Hack, membre de la Société depuis 1872.

M. Polonceau donne lecture de la notice nécrologique suivante sur M. Netter :

Nous avons perdu, dit-il, un collègue qui a été mon collaborateur et mon ami pendant quatorze ans. C'est pour moi un devoir et une consolation de vous exposer sa vie et ses travaux.

Léon Netter naquit à Strasbourg le 27 avril 1829, il fit ses études à l'École industrielle municipale de Strasbourg, de 1842 à 1845. Il en sortit le premier, il entra ensuite à l'École des Arts et Métiers de Châlons, en sortit le premier après les médaillés et reçut la faveur, par suite de

ce rang, d'aller passer une quatrième année d'application à l'École des Arts et Métiers d'Aix, qu'il quittait le deuxième en 1849, pour entrer comme monteur puis comme dessinateur à la Compagnie de Strasbourg-Bâle; enfin le 2 mai 1836, il entrait comme Ingénieur à la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État où il devait mourir après 33 ans de service.

La Société autrichienne venait de se fonder sous la puissante direction des Pereire, en collaboration avec MM. Mallet d'Eichtal, etc., et avec ce tact admirable qui leur faisait placer à la tête de leurs créations les hommes les plus faits pour les développer et illustrer le nom français, ils lui avaient donné pour directeur général M. Maniel, administrateur hors ligne qui, d'accord avec M. Le Chatellier, ingénieur-conseil, organisa la Société sur des bases tellement remarquables, qu'elle devint un modèle pour toute l'Autriche-Hongrie. Le nom de M. Maniel est resté vénéré dans le personnel, et s'il savait s'entourer de collaborateurs émérites dans les plus hautes fonctions, les postes plus modestes étaient l'objet de choix judicieux; c'est dans un de ces postes que Netter débuta; en peu de temps on a reconnu son intelligence et son bon sens, et en avril 1857, on l'envoya à Neuhausel (Hongrie) pour installer les ateliers et les diriger.

En 1858, il passa aux ateliers de Pardubitz (Bohême), où il rendit de grands services; en 1866, il sut faire évacuer tout le matériel roulant de cette section avec une rapidité tout à fait remarquable. Il aimait à parler des rapports qu'il avait eus alors avec les officiers autrichiens et hongrois et contait sur ce sujet des anecdotes fort intéressantes.

En 1868, il devint chef des ateliers plus importants de Bohm-Trubau où il appliqua avec succès ses idées d'entretien à bon marché du matériel roulant.

En 1872, il fut envoyé en mission, par la Société autrichienne, à Bucharest pour la reconstruction des chemins de fer roumains. J'y remplissais les fonctions de directeur central du matériel et de la traction (également en mission) et c'est à dater de cette époque que j'ai eu en lui le collaborateur le plus zélé et le plus dévoué.

Les chemins de fer roumains avaient été abandonnés par Strausberg dans un état déplorable, et le gouvernement roumain n'avait consenti à ne pas les mettre sous le séquestre qu'à la condition que le syndicat des actionnaires présentât une solution garantissant l'achèvement des travaux dans de bonnes conditions. Ce syndicat ne put faire accepter que la combinaison qui remit l'exécution des travaux à la Société autrichienne, Société dirigée par des Ingénieurs français, déléguant ses pouvoirs à un directeur général français, M. Léon Guillieux qui, après l'achèvement des travaux, devait rester pour l'exploitation des lignes.

Au lendemain de 1870, après nos cruelles épreuves, il était beau de voir le talent et l'intégrité des Ingénieurs français reconnus par des actionnaires prussiens, dans un pays sympathique à la France mais gouverné par un prince d'origine prussienne.

Pendant neuf mois on dut travailler d'une manière exceptionnelle et dans des conditions toutes particulières, l'esprit pratique de Netter fut d'une grande utilité. Entre autres difficultés, nous nous trouvions en

face d'un personnel de machinistes de différentes nationalités et parlant différentes langues, les signaux étaient de divers types et le règlement incomplet et modifié, fait en allemand, n'était compris que d'un petit nombre; il fallait une solution *immédiate* à cette difficulté et c'est Netter qui la trouva. Il me présenta un matin un tableau-affiche colorié fort ingénieux, indiquant en croquis les divers signaux et leur signification avec un texte très succinct en plusieurs langues. Ce tableau servit pendant fort longtemps à la satisfaction de tout le personnel.

Netter revint à Vienne avec moi en 1874, il resta à mes côtés à la Société autrichienne comme secrétaire et chef du personnel de la direction du matériel et de la traction. En 1882, je fus heureux de pouvoir lui faire confier par le Conseil les fonctions de chef du service du matériel et des ateliers du réseau hongrois de la Société austro-hongroise, près des chemins de fer de l'Etat, fonctions qu'il a remplies avec un très grand talent et un tact parfait jusqu'à sa mort arrivée après quelques semaines de maladie, le 19 janvier de cette année.

J'ai travaillé avec Netter pendant quatorze ans, son zèle et son dévouement ne se sont jamais démentis et j'ai pu mieux que personne apprécier ses rares qualités. Ses fonctions l'obligeaient à m'entretenir fréquemment du personnel, et son jugement droit et sain lui faisait toujours voir les choses telles qu'elles devaient être; il me renseignait avec une discrétion absolue et pour les avancements et gratifications n'avait jamais en vue que l'intérêt de la Société, lors même que les employés présentés n'avaient pas ses sympathies personnelles; il s'était acquis l'estime et l'affection de tous, malgré les nationalités plus ou moins en rivalité; ses collègues des divers services voulaient être ses amis, et l'attiraient dans leur famille où il apportait toujours quelque bonne histoire ou quelque compliment humoristique, car il avait la joyeuse humeur que donne une conscience parfaitement honnête et paisible.

Le service du matériel et de la traction faisait l'achat des approvisionnements pour tous les services de la Compagnie et, là encore, son intégrité complète me donnait une sécurité absolue.

Netter avait inventé une balance très ingénieuse pour le pesage des tubes de chaudières, permettant de les classer suivant l'épaisseur, il mettait la dernière main à une note qui vous était destinée sur cette question lorsque la mort est venue le frapper; j'espère pouvoir dans quelque temps vous la communiquer. Il avait été décoré de l'ordre du Takowo de Serbie (officier) pour services rendus aux Ingénieurs serbes envoyés dans mon service pour s'instruire et avait reçu une médaille à l'Exposition de Budapest en 1884.

J'arrive au côté intime de sa vie qu'il est tout à son honneur de dévoiler, car malheureusement sa modestie n'en souffrira plus. Il n'avait pas de fortune, et ses parents, honorables commerçants de Strasbourg, élevaient avec certaines difficultés une nombreuse famille. Aussitôt qu'il fut en Autriche, Netter, au lieu de s'amuser comme bien des jeunes gens l'auraient fait, amassa peu à peu une jolie somme qui lui permit de marier honorablement ses trois sœurs, puis, sa mère étant veuve et infirme, il continua à lui envoyer chaque mois ses économies. Il ne

gardait presque rien pour lui et c'est seulement lorsqu'il perdit sa mère qu'il me dit : maintenant je vais amasser pour pouvoir me retirer.

Alsacien, il avait opté pour la nationalité française ; il était ardent patriote, il aimait la France avant tout, mais l'Alsace particulièrement. Au milieu des étrangers, sans choquer personne, il savait faire respecter ses sentiments, et ses diverses fonctions lui ayant créé des relations nombreuses, il devait en grande partie l'estime en laquelle il était tenu à la dignité avec laquelle il savait rester à sa place, ne jamais rien demander et obliger infatigablement.

L'esprit d'ordre et d'économie qui lui avait permis d'aider sa famille n'excluait pas l'esprit de charité, en dehors des siens ; il a fait partie de la Société d'assistance pour les Français à Vienne, de 1873 jusqu'à la fin de sa vie ; nos compatriotes malheureux ne s'adressaient jamais à lui en vain, et il y a bien peu de jeunes Ingénieurs français venus à Vienne dans ces quinze dernières années qui n'aient pas éprouvé son extrême obligeance ; il était heureux de faciliter leurs voyages en traçant leurs itinéraires et indiquant les usines et les industries qui pouvaient les intéresser ; sa figure s'épanouissait alors et il jouissait d'être utile à des Français.

J'ai trouvé à tracer ces lignes une double satisfaction, d'abord celle d'acquitter un devoir de reconnaissance envers un homme dont la collaboration dévouée avait mérité toute mon amitié, ensuite celle d'honorer hautement le sentiment du devoir dont Léon Netter avait fait le guide de sa vie. Il a rempli le sien complètement, comme fils, comme frère, comme ami, comme Ingénieur, et c'est une véritable consolation pour moi de rendre hommage à un de ces caractères solides et modestes qui honorent le nom français à l'étranger.

M. le Président remercie M. Polonceau des paroles si touchantes qu'il vient de prononcer sur notre excellent collègue et camarade Netter, et il ajoute que la Société tout entière prend part au deuil qui a frappé sa famille.

M. le Président donne lecture de la note suivante relative à la réception des membres de la Société des *Mechanical Engineers*.

« Messieurs,

» Ainsi que vous le savez déjà, plusieurs Sociétés d'ingénieurs de
» divers pays, Angleterre, Belgique, Espagne, Hollande, doivent, à
» l'occasion de l'Exposition, venir à Paris, et notre Société a cru de son
» devoir, de chercher à leur faciliter le plus possible les occasions de
» voir des usines et ateliers importants.

» La première de ces réceptions doit avoir lieu pendant le séjour, à
» Paris, de la Société des *Mechanical Engineers* de Londres, du 2 au
» 6 juillet.

» Une Commission de réception est formée et votre Comité fait appel
» à ceux des membres de la Société qui disposeraient de quelques loisirs,
» à cette époque, pour l'aider dans sa tâche.

» Ceux d'entre vous qui voudraient bien accepter d'en faire partie » auront plus spécialement pour mission de guider nos collègues étran- » gers dans les diverses visites d'usines et ateliers, dont le programme a » été élaboré de concert avec la Société des *Mechanical Engineers*. Ils » auront à les piloter, à les renseigner, en un mot, à leur consacrer tout » le temps dont ils pourront disposer pendant les après-midi du 2 au » 6 juillet.

» Le Comité compte sur votre concours et plus spécialement sur ceux » d'entre vous qui parlent anglais et dont la tâche sera ainsi simplifiée.

» Le mardi 2 juillet, aura lieu, dans l'hôtel de la Société, une réception » tout amicale de nos collègues anglais, par le Comité et la Commission » de réception.

» Nous serons heureux de voir un certain nombre d'entre vous se » joindre à nous en cette circonstance.

» Voici les noms de ceux de nos collègues qui ont bien voulu déjà » accepter de faire partie de cette Commission ; ce sont :

MM. Eiffel,	Président.	MM. Canet,	Membre de la Société
Contamin,	Vice-Président	Casalonga, Ch.,	—
Polonceau,	—	de Cordemoy,	—
Périssé,	—	Decauville,	—
Jousselin,	—	Demoulins (Maurice),	—
Couriot,	Trésorier	Doux,	—
Vallot,	Secrétaire	de Fréminville,	—
B. de Fontviolant	—	Gobert,	—
Cerbelaud,	—	Mallet A.,	—
Bert E.,	—	Mayer E.	—
Brüll,	Ancien Président	Morandière J.,	—
Gottschalk,	—	Monjean,	—
Jordan,	—	Regnard,	—
Trélat,	—	Salles,	—
Bandérali,	Membre de la Société	Vaslin,	—
Bourdil,	—	Verne,	—
Boyer, Eug.-Hipp.	—	Whaley,	—
Buron,	—		

» Nous vous demandons, messieurs, de bien vouloir nous répondre le » plus tôt possible et désirerions arrêter notre liste d'ici au 15 avril. »

M. le Président espère que les membres de la Société qui connaissent la langue anglaise voudront bien s'adjoindre aux membres déjà désignés.

M. le Président donne lecture de la circulaire qui a été adressée aux membres de la Société relativement à l'Exposition :

« Paris, le 12 mars 1889.

» Mon cher Collègue,

» Ainsi que vous le savez déjà, notre Société a tenu à honneur de figurer dignement à l'Exposition de 1889 et nous avons pu obtenir, dans la grande galerie des machines, au premier étage, un emplacement de 80 mètres de superficie pour y organiser notre exposition.

» Cette salle sera en outre utilisée comme lieu de réunion pour tous les membres de la Société et servira aussi lors des réceptions des diverses Sociétés d'Ingénieurs étrangers que nous avons invitées pour 1889.

» Le comité a pensé qu'il serait intéressant de réunir dans ce salon les principaux travaux des membres de la Société.

» Je viens donc vous demander de bien vouloir me faire savoir si vous désirez vous joindre à nous, et nous envoyer, soit des ouvrages intéressant l'art de l'Ingénieur, tels que volumes, albums, atlas de planches, soit des photographies, plans ou dessins de machines ou travaux exécutés ou en cours d'exécution.

» Dans le cas de l'affirmative, je vous serai reconnaissant de nous retourner le plus tôt possible, après l'avoir remplie, la feuille ci-jointe.

» Agréez, mon cher Collègue, l'assurance de mes meilleurs sentiments.

» *Le Président,*

» G. Eiffel.

» N. B. — Prière d'adresser la correspondance ainsi que les envois divers de plans, volumes et photographies à M. l'Agent général, 10, cité Rougemont. »

Il ajoute que, pour faciliter l'installation, il est absolument nécessaire que les envois de livres, brochures ou dessins soient effectués dans le plus bref délai.

M. le Président annonce que la Ville de Paris vient d'ouvrir un concours entre tous les inventeurs de compteurs d'énergie électrique pouvant s'appliquer soit aux courants continus, soit aux courants périodiques, sous quelque forme que l'énergie se présente.

Les compteurs doivent être déposés sous une enveloppe cachetée avec notice à l'appui, du 15 au 25 mai, à l'Hôtel de Ville, au bureau du Sous-Directeur des Travaux.

Les appareils seront soumis à des expériences comparatives qui porteront :

a. Sur la proportionnalité et l'exactitude des appareils dans toute l'échelle des débits ;

b. Sur l'énergie dépensée pour effectuer les mesures ;

c. Sur le trouble apporté dans la distribution par l'emploi du compteur ;

d. Sur la valeur pratique des appareils (simplicité, réglage, prix de revient, etc.).

Une somme de 20 000 *f* sera distribuée en primes dans les conditions suivantes :

10 000 *f* à l'inventeur qui produira un compteur donnant toute satisfaction ;

Cinq primes de 2 000 *f* aux cinq inventeurs dont les compteurs auront fait réaliser après lui les progrès les plus importants.

Dans le cas où le compteur ne s'appliquerait qu'à une des deux formes du courant, l'inventeur n'aurait droit qu'à la moitié de la prime.

Beaucoup de nos collègues s'occupent d'une façon spéciale des questions d'électricité, aussi M. le Président fait des vœux pour qu'ils

prennent part à ce concours et obtiennent les récompenses les plus élevées attribuées aux lauréats.

M. le Président donne la parole à M. Fleury, qui a demandé à donner quelques renseignements sur le congrès relatif aux Travaux maritimes.

M. Fleury dit que ce congrès se tiendra du 7 au 12 octobre. Ses séances auront lieu dans l'hôtel de la Société, que M. le Président a bien voulu mettre à sa disposition. La Commission d'organisation est présidée par M. Bernard, directeur général du service des Phares. Elle compte parmi ses membres trois anciens présidents de la Société : MM. Hersent, Lavalley, Molinos. Le programme des travaux est divisé en cinq grandes sections, à savoir :

1° Ouvrages intérieurs et extérieurs des ports ;

2° Amélioration et entretien des entrées de port et des estuaires. — Défenses des côtes ;

3° Instruments de radoub et outillage des ports ;

4° Régimes auxquels sont soumis dans les différents pays l'exécution et l'exploitation des ports ;

5° Phares et balises.

Toutes les questions relatives aux travaux maritimes pourront donc être traitées dans ce congrès, et la Commission d'organisation invite les personnes qui ont des mémoires à présenter, à les lui envoyer avant le 15 juillet. Autant que possible, ces mémoires ne devront pas avoir plus de douze à quinze pages. Il est très probable qu'après le Congrès on pourra visiter certains travaux intéressants, mais à ce sujet la Commission d'organisation n'a pas voulu prendre d'engagement à l'avance.

En terminant, il insiste pour que les membres de la Société qui s'intéressent à ces questions adhèrent au Congrès maritime. Adhésions et mémoires peuvent être adressés au président de la Commission d'organisation, M. Bernard, directeur général du service des Phares, 43, avenue du Trocadéro.

M. le Président remercie M. Fleury de ses intéressants renseignements; il espère que son appel sera entendu par beaucoup de nos collègues, qui voudront bien s'inscrire à ce Congrès.

M. le Président donne la parole à M. Cottancin pour rendre compte du transport de la canonnière Farcy, auquel ont assisté un certain nombre de nos collègues, sur l'invitation gracieuse qui nous en avait été faite par M. le Commandant Farcy. M. le Président saisit cette occasion pour adresser à ce dernier tous les remerciements de la Société.

M. Cottancin dit que cette canonnière, appelée à naviguer dans les cours d'eau à faible tirant, tout en portant une artillerie de 9 000 *kg*, a été étudiée en vue du passage sur les hauts fonds et du transport par terre lorsque les cataractes viennent entraver sa marche.

Ses dimensions sont en longueur entre perpendiculaires 20 400 *m*, avec largeur hors membrure de 5,00 *m*. Elle cale 0,60 *m*.

La distance qu'elle devait franchir entre son point de stationnement, devant la porte du palais de l'Industrie et la berge de la Seine, est de 1 000 *m* environ.

Pour cette opération, elle était portée par deux wagonnets à trois

essieux roulant sur la voie Decauville N° 11 en rails d'acier de 9 000 *kg*, à jonction hybride et éclisses boulonnées, qui permettent de diriger les courbes à droite et à gauche indifféremment. Ces rails, par bouts de 5,00 *m* de longueur, sont montés, à la distance entre rail de 0,60 *m*, sur 8 traverses en acier, système Péchot, à section en ⊓, de 0,140 *m* × 0,029 *m*, débordant la voie de 0,20 *m*. Ces traverses sont fermées au marteau-pilon et sont fixées au rail par trois rivets ; la fermeture de leurs extrémités permet de retenir le ballast et de substituer, dans le déplacement latéral de la voie, au frottement de terre contre fer celui de terre contre terre qui est bien plus grand, ce qui augmente considérablement la stabilité de la voie.

Les plaques tournantes, pour cette voie, sont construites avec deux plaques en tôle épaisse d'acier, dont l'une possède un pivot et un cercle de roulement et l'autre porte une série de galets en acier pour obtenir le roulement sur le chemin de la première plaque.

Pour le transport considéré, on avait placé dans l'axe de la canonnière, au moyen de vérins, deux wagonnets à trois essieux portant chacun 3 000 *kg* par l'intermédiaire de deux ressorts inégaux reliés entre eux par un balancier, le plus grand ressort transmet la charge par une semelle.

Toutes les pièces de ces wagonnets sont en acier et d'une construction robuste.

La canonnière reposait directement sur une fourche à pivot, munie de quatre galets, s'appuyant sur un cercle de roulement placé dessus le wagonnet.

La longueur de voie, employée pour effectuer ce transport de 1 *km*. n'était que de 120 *m* et, pour toute pièce accessoire, une seule plaque tournante de 1,30 *m*.

L'opération s'était faite très régulièrement jusqu'à la plaque tournante, permettant de déplacer à angle droit cette masse de 15 *t* pour l'amener parallèlement au côté du Palais de l'Industrie et le premier wagonnet avait même passé sans encombre lorsque les matelots, qui étaient chargés de la manœuvre, agissant avec trop d'entrain, lors d'un coincement de la plaque tournante, brisèrent une plaque de garde d'essieu, ce qui nécessita l'arrêt momentané du transport et retarda la mise à l'eau.

Le lendemain on a continué le transport interrompu par ce petit accident. La canonnière a été amenée sans manœuvre de plaque tournante au moyen de courbes, à très petit rayon, devant le jardin d'hiver ; à 4 heures et demie, le premier wagonnet était arrivé sur la plaque tournante, qui devait permettre le mouvement à angle droit de la canonnière, pour lui faire prendre la rampe de la berge et à 6 heures le deuxième wagonnet avait passé la plaque tournante.

Cette partie délicate du transport s'est effectuée, cette fois, dans de très bonnes conditions.

Dans cette opération, il a fallu faire progresser (comme dans toutes circonstances analogues) les deux wagonnets sur deux parties à angle droit, de la même façon que les galets de l'appareil à tracer les ellipses.

M. le commandant Farcy a mené ce mouvement à bonne fin, malgré les difficultés de toutes sortes qu'il a rencontrées dans ce parcours de 1 *km* où la foule entravait le travail ; de plus, les ouvriers, embauchés pour la

circonstance, n'étant pas habitués à cette manœuvre de forces, ne pouvaient conduire cette opération avec l'habileté de praticiens expérimentés.

M. Farcy a donc montré que sa canonnière, au point de vue du transport, avait l'avantage appréciable d'être déplacée par le matériel à voie étroite employé pour nos parcs d'artillerie.

Cette question est très intéressante pour la défense des villes ouvertes situées sur les cours d'eau ainsi que pour les colonies.

M. le Président remercie M. Cottancin qui a quitté une heure à peine le champ d'expériences et vient de nous donner de si intéressantes indications sur le transport de la canonnière Farcy.

M. Polonceau rend compte de l'ouvrage de MM. Lefèvre et Cerbelaud, intitulé : *les Chemins de fer ;* il s'exprime en ces termes :

M. Cerbelaud, notre collègue, en son nom et au nom de M. P. Lefebvre a fait hommage à la Société des Ingénieurs civils de l'ouvrage qu'ils viennent de publier sur *les Chemins de fer.*

Jusqu'à ce jour nous avions deux catégories d'ouvrages de ce genre, la première traitant les questions complètement au point de vue des ingénieurs, la seconde à l'usage des gens du monde; or, cette seconde catégorie était un peu trop... comment dirais-je... à l'usage des écoles primaires et contenait souvent des indications incomplètes ou inexactes qui ne donnaient pas une idée de l'importance des chemins de fer, de leur difficulté d'exploitation, des progrès réalisés, en un mot du travail que représente cet imposant moyen de transport.

En France, le réseau des chemins de fer est actuellement de 32 000 *km ;* le tonnage transporté, exprimé en tonnes kilométriques, est de plus de 10 milliards et le personnel affecté atteint près de 250 000.

Il est de l'intérêt général qu'un pareil outil soit connu plus en détail par le public, afin qu'il se rende compte de ce que l'on peut lui demander et qu'on n'entende plus des personnes fort intelligentes exiger des choses impossibles et soutenir des thèses inadmissibles basées malheureusement sur une ignorance complète des chemins de fer.

L'ouvrage de MM. Lefebvre et Cerbelaud tient des deux genres connus jusqu'à ce jour, il sera consulté par les ingénieurs, car ils en ont traité toutes les parties en véritables ingénieurs. Il servira dans bien des cas de memento pour recourir aux ouvrages spéciaux et sera lu avec fruit et intérêt par les personnes instruites qui voudront comprendre les chemins de fer.

L'ouvrage donne d'abord l'historique abrégé des chemins de fer, puis il passe successivement par les diverses phases qu'ils parcourent :

L'étude des travaux.
L'infrastructure.
La superstructure.
Les gares et stations.
L'entretien et la surveillance de la voie.
L'organisation du service de la voie.
La locomotive.
Le matériel à voyageurs et à marchandises.

Les dépôts, ateliers, alimentation.
L'organisation du service du matériel et de la traction.
Les gares.
Les signaux.
Les trains.
Les systèmes et appareils de sécurité.
Les tarifs.
L'organisation du service de l'exploitation et du service commercial.
L'organisation spéciale des Compagnies.
Le contrôle de l'État.

Enfin, il se termine par un aperçu d'ensemble des dépenses d'exploitation et ses conclusions indiquent la situation générale des chemins de fer et les diverses questions à l'étude.

Cet ouvrage est un service rendu à tous les travailleurs sérieux, il prouve surabondamment que les compagnies de chemins de fer sont arrivées en France à force d'études, de travaux, d'essais et par de grandes dépenses à des progrès immenses, comme rapidité, sécurité, confort des voyageurs, et cependant malgré ces causes de dépenses elles ont réduit les prix aussi bien pour les voyageurs que pour les marchandises transportés et ont réalisé des économies très considérables sur les dépenses d'exploitation.

Ces résultats n'ont été obtenus que par les efforts constants de tout le personnel des Compagnies, et comme le font remarquer MM. Lefebvre et Cerbelaud, loin d'avoir fait des économies aux dépens du personnel, le but constant des conseils d'administration a été d'améliorer son sort par tous les moyens possibles, et, pour ne parler que de l'amélioration la plus importante, nous signalerons la pension de retraite qui, sous une forme ou une autre, existe dans toutes les Compagnies.

En terminant, je dirai que quelques rectifications peu importantes sont à faire comme il arrive toujours dans une première édition ; les *errata* sont faits pour cela.

Peut-être pourrai-je reprocher à MM. Lefebvre et Cerbelaud d'avoir un peu trop puisé leurs exemples dans la Compagnie de l'Ouest, mais cela part d'un si bon sentiment, celui de l'affection et du respect des fils pour leur père, que je n'en ai point le courage.

Enfin, je signale pour la prochaine édition l'utilité qu'il y aurait à consacrer un chapitre au régime fiscal des Compagnies et aux conventions, c'est peu connu, surtout peu compris et il serait bon pour l'instruction du public, de lui montrer les sacrifices énormes faits par les Compagnies de chemins de fer et l'importance immense qu'il y a à consolider le crédit des Compagnies dans l'intérêt général.

M. le Président remercie M. Polonceau d'avoir appelé l'attention des membres de la Société sur l'ouvrage de MM. Lefebvre et Cerbelaud dans lequel beaucoup de nos collègues pourront trouver de précieux renseignements.

M. Polonceau donne une analyse du mémoire de M. Bresson, membre de la Société, sur la fabrication et les emplois actuels de l'acier déphosphoré.

Notre collègue, M. G. Bresson, dit-il, vous a fait hommage d'un mémoire sur la fabrication et les emplois actuels de l'acier déphosphoré.

Il lui a paru qu'un métal dont le mode de fabrication ne datait que de 10 ans et dont la production totale européenne pour 1886 était de un million et demi de tonnes, méritait un examen sérieux.

M. Bresson examine d'abord l'influence du phosphore, du manganèse et du silicium sur les propriétés à chaud et à froid des métaux fondus, puis les essais de déphosphoration au procédé Thomas-Gilschrist.

Il expose les considérations théoriques sur la marche du procédé Thomas et Gilschrist, l'ordre d'élimination et pouvoir calorifique des éléments combustibles, la composition des fontes traitées, il fait la description des principaux gites de minerais actuellement employés pour la fabrication de la fonte Thomas, donne les principes de la fabrication de cette fonte et un aperçu de son prix de revient, la disposition et l'outillage des aciéries Thomas, le mode actuel de revêtement des convertisseurs, les détails de l'opération Thomas, l'emploi de la fonte de première, de seconde fusion, la classification du métal et emploi des scories; enfin, l'emploi du métal Thomas, etc.

Le mémoire de M. Bresson a d'autant plus de valeur que son auteur, ayant dirigé pendant plusieurs années les mines, usines et domaines de la Société Autr.-Hong.-priv. des Chemins de fer de l'État, a l'expérience d'un métallurgiste pratique, et qu'il a été en rapport avec des Ingénieurs autrichiens et allemands dirigeant des usines où le procédé Thomas était en usage, car c'est à l'étranger, et spécialement en Allemagne et en Autriche, que ce procédé a été et est encore le plus employé, ainsi que le montre le tableau ci-dessous pour 1886.

Angleterre.	258 666 *t*
Allemagne, Autriche, Luxembourg. . .	883 859
France.	122 711
Belgique et autres pays	48 595
	1 313 631 *t*

Ces renseignements divers, M. Bresson les a complétés par ses études personnelles dans les diverses usines françaises et dans les nombreux mémoires présentés à la Société des Ingénieurs civils et que l'auteur relate avec un très grand soin, laissant à chacun le mérite de ses observations.

La déphosphoration est une invention qui a une très grande portée, puisqu'elle permet de traiter par le procédé Bessemer des fontes phosphoreuses, mais je crois que l'on a été un peu loin en pensant que le métal obtenu dans ces conditions pouvait remplacer, soit l'acier Bessemer, soit l'acier Martin, soit même le fer; on y arrivera peut-être, et, dans bien des cas, on pourra remplacer l'acier Bessemer ordinaire par de l'acier Bessemer obtenu par le procédé Thomas, mais dans bien d'autres cas, je crois qu'on aura de meilleures qualités pour les bandages, les essieux, les tôles, en employant des aciers obtenus au four Martin.

Nous avons pu suivre cette question en Autriche-Hongrie, où nous étions membre du Comité des mines, usines et domaines de la Société

Autrich-Hongr.-priv. des Chemins de fer de l'État, et quoique nous ayons des minerais excellents (fers magnétiques analogues aux minerais de Suède), nous avons toujours obtenu au Bessemer des produits inférieurs à ceux du four Martin.

Cependant, comme le fait très bien remarquer M. Bresson, les essais consistant à faire arriver l'acier Thomas en fusion dans un four Martin ou analogue pour l'y laisser reposer pendant un certain temps, ont donné de bons résultats, mais il est évident que c'est une augmentation de dépense.

En résumé, M. Bresson a réuni des données précieuses sur l'acier Thomas, et son travail facilitera les recherches pour arriver à améliorer ce produit qui est encore un peu délicat.

M. le Président remercie M. Polonceau d'avoir attiré l'attention de la Société sur l'intéressant et important travail de M. Bresson. Les applications de plus en plus nombreuses que l'on fait de l'acier déphosphoré, justifient et expliquent l'intérêt que nos collègues ont pris à cette communication.

M. Polonceau dit que notre collègue M. Lencauchez a déjà traité cette question devant la Société et qu'il a montré que les ingénieurs français se sont beaucoup occupés de la déphosphoration des aciers. On attribue généralement cette invention aux étrangers, tandis que ce sont des ingénieurs français qui en ont eu le mérite.

M. Bresson pense qu'on pourrait généraliser la question et qu'ensuite une discussion s'ouvrirait plus utilement. Il présente la communication suivante sur *l'État actuel de la métallurgie de fer et de l'acier en Allemagne.*

Il dit qu'en 1884, alors qu'il habitait loin de Paris, M. Jordan a bien voulu présenter, en son nom, une communication sur l'état de la métallurgie du fer et de l'acier en Autriche-Hongrie. Ce travail était le résumé d'études faites pendant un séjour de dix années dans ces deux pays. Après avoir rapidement passé en revue les matières premières (minerais et combustibles), dont l'industrie sidérurgique y dispose, cette note décrivait rapidement les hauts fourneaux, les aciéries, les forges et les laminoirs installés sur toute l'étendue de la monarchie. Pour terminer, quelques lignes étaient consacrées aux ateliers de construction qui, soit réunis aux forges, comme cela arrive souvent, soit ayant une existence indépendante, forment le dernier échelon de l'industrie du fer et de l'acier.

L'idée lui est venue de faire un travail analogue pour l'Empire allemand. Le développement qu'y a pris, depuis 1870, la production de la fonte et de ses dérivés, a été ici même l'objet de fort intéressantes communications, mais aucun travail d'ensemble n'a, à sa connaissance, pris place jusqu'à présent dans les comptes rendus des travaux de la Société. Au moment où l'Exposition de 1889 va s'ouvrir, sans le concours de l'Allemagne, il lui a paru intéressant d'aller prendre chez elle les renseignements qu'elle n'était point disposée à nous apporter.

Son travail de 1884 sur l'Autriche-Hongrie était basé sur un contact fréquent avec les établissements décrits. Il n'a pas eu pour l'Allemagne des sources d'informations aussi personnelles. Il croit cependant être ar-

rivé à présenter un tableau assez fidèle de l'état actuel de la fabrication du fer et de l'acier en Allemagne. Dans un travail d'ensemble, les données statistiques jouent un rôle important, mais pour ne pas retenir trop longtemps l'attention de nos collègues, M. Bresson se bornera à résumer les résultats les plus frappants, en renvoyant ceux qui désireraient des renseignements plus complets à la Note, qui sera publiée *in extenso* dans le Bulletin de la Société.

La production de l'Allemagne, en minerais de fer, a dépassé, en 1887, 9 millions de tonnes, mais le sol de l'ancienne Confédération germanique est loin de représenter à lui seul cette production. En effet, le royaume de Prusse n'y figure que pour 3 500 000 *t* environ; les autres Etats non annexés, tels que la Bavière, le Wurtemberg, le grand-duché de Bade, n'entrent en ligne que pour des quantités insignifiantes. La différence entre les deux chiffres indiqués ci-dessus, soit près de 50 0/0, est donc fournie par la grande formation oolithique lorraine-luxembourgeoise, à laquelle nous empruntons nous-mêmes les minerais traités dans le département de Meurthe-et-Moselle. Cette formation, dont l'importance est devenue si grande depuis que le procédé Thomas et Gilchrist a permis d'employer les minerais phosphoreux pour la fabrication du fer et de l'acier fondus, joue donc pour l'Allemagne un rôle au moins aussi grand que pour nous. C'est là un premier fait qu'il importait de dégager.

Les conditions d'exploitation des minerais oolithiques ont été indiquées récemment par M. Rémaury dans ses communications, aussi M. Bresson n'insistera pas sur ce point et il passe à l'examen rapide des minerais sur lesquels est basée ce qu'on pourrait appeler l'ancienne métallurgie allemande. Les hématites brunes manganésifères et les fers spathiques des vallées de la Lahn et de la Sieg y jouent encore un rôle prépondérant; l'extraction en a été, en 1886, de près de 2 millions de tonnes, valant en moyenne 8,60 *f* la tonne. C'est là un prix élevé, surtout si on le compare à celui des minerais oolithiques, mais il est compensé par l'excellente qualité de ces minerais dont M. Jordan a signalé depuis longtemps l'importance.

Ce sont aussi les hématites brunes qui, à l'autre extrémité de l'Allemagne, fournissent l'aliment principal aux hauts fourneaux de la Silésie; mais ces minerais, provenant du Muschelkalk, y sont de qualité inférieure, car le rendement en fer dépasse rarement 30 à 35 0/0, et la teneur en silice de la gangue atteint parfois 20 0/0, sans être compensée par la présence du manganèse. Le prix de revient est, il est vrai, peu élevé, et ne dépasse pas 3,70 *f* pour une extraction annuelle d'environ 700 000 *t*.

Les minerais carbonatés des houillères (blackbands) n'entrent dans la consommation totale de l'Allemagne que pour un faible chiffre (327 202 *t* en 1886). Les minerais magnétiques ne sont exploités qu'en quantités insignifiantes. Quant aux matières d'utilisation accessoires, telles que scories de forge, résidus de pyrites grillés, etc., la Note fournira sur elles les renseignements nécessaires.

Malgré ces ressources nationales, l'Allemagne importe annuellement plus de 500 000 *t* de minerais provenant presque exclusivement des gisements de Bilbao. Parmi les consommateurs de ces minerais étran-

gers, on peut citer la maison Krupp et les usines situées sur les bords du Rhin entre Coblentz et Dusseldorf.

C'est surtout grâce au combustible que la supériorité métallurgique de l'Allemagne s'est affirmée dans les dernières années. Ells a extrait, en 1887, 60 335 000 *t* de houille et 15 898 000 *t* de lignites. Le temps manque à M. Bresson pour montrer combien la marche ascendante a été rapide, pour faire ressortir le rang que l'Allemagne occupe aujourd'hui dans les pays de grosse production, enfin pour indiquer comment cette extraction totale se répartit entre les divers bassins de l'Empire. La Note publiée dans le Bulletin fournira aussi ces renseignements et indique en même temps la valeur des combustibles extraits. Il se borne à dire dès à présent que presque partout les prix de revient sont inférieurs aux nôtres, surtout si on tient compte de la qualité du produit.

Dans une étude comme celle-ci, la fabrication du coke doit occuper une grande place, et M. Bresson donne des détails assez complets sur le lavage des charbons, les divers types de fours employés et les résultats obtenus. C'est surtout dans le bassin de la Ruhr que les progrès ont été les plus marqués; les houilles menues et pulvérulentes y sont soumises à des procédés de préparation mécanique très perfectionnés et qui permettent d'éviter à peu près entièrement ces résidus boueux, moitié charbon et moitié schistes, qui étaient à la fois une perte et un embarras. Les fours du cuisson rentrent presque tous dans le type du four belge, avec toutes les variétés et les nombreux perfectionnements dont il a été l'objet. On fait en ce moment des tentatives pour recueillir les sous-produits et pour utiliser, dans la construction des fours à coke, le principe de la régénération de la chaleur.

La production totale de la fonte en Allemagne a été, en 1887, de 3 994 108 *t*, autant dire 4 000 000. On rappelle, à ce propos, que celle de l'Angleterre et des Etats-Unis d'Amérique a dépassé 7 millions, tandis que la nôtre oscille entre 1 500 000 et 2 000 000, sans avoir pourtant jamais atteint ce dernier chiffre.

Dans le chiffre indiqué ci-dessus pour l'Allemagne, la fonte au bois, qui figurait en 1884 pour 40 000 *t* environ, n'intervient plus que pour 29 000 *t*. Il n'y a donc plus à s'en occuper aujourd'hui.

En ce qui concerne les hauts fourneaux au coke, les mieux installés se rencontrent dans le bassin de la Ruhr, entre Ruhrort et Dortmund, présentant une grande analogie de forme et de construction avec ceux de notre département de Meurthe-et-Moselle. 18 à 20 *m* de hauteur avec des capacités variant de 350 à 450 m^3, telles sont les règles qu'on a adoptées des deux côtés du Rhin et qui donnent toute satisfaction aux ingénieurs.

Sans s'arrêter plus longtemps à des détails de construction déjà décrits, M. Bresson préfère terminer ce qui concerne les hauts fourneaux, en faisant connaître les résultats statistiques de 1888, qui n'étaient pas encore publiés au moment où il a terminé son travail. Ils se décomposent comme il suit :

Fontes de puddlage et spiegeleisen	2 064 016 *t*,	soit	48 0/0.
— Bessemer	395 878	—	9,3.
— Thomas	1 253 308	—	29,5.
— de moulage	516 282	—	12,4.
Total	4 229 484 *t*.		

Comme on le voit, le chiffre de 4 000 000 a été dépassé, et encore cette statistique provisoire ne tient pas compte de la fonte au bois.

Il est un autre fait bien digne d'attirer l'attention. C'est l'avance de plus en plus grande que prend la fonte Thomas sur la fonte Bessemer. Il semble que dans quelques années les convertisseurs des aciéries allemandes ne seront plus employés qu'au traitement des fontes phosphoreuses.

Notre vice-président, M. Polonceau, venant précisément d'entretenir la Société de la fabrication et des emplois du métal déphosphoré, M. Bresson est également très bref sur ce point, et il passe à la partie de son travail consacrée à l'étude du roulement des forges et aciéries. Il insiste avant tout sur ce fait que les Allemands ont l'habitude de prendre pour point de départ de leur statistique la division en fer fondu et soudé. Au lieu de discuter, comme nous le faisons encore aujourd'hui, sur l'emploi de l'*acier* dans les constructions métalliques, les Allemands discutent sur l'emploi du *fer fondu* et du *fer soudé*, et la question lui paraît ainsi mieux posée par eux que par nous. Si on veut avoir de grandes résistances, la matière employée prendra la trempe et présentera les propriétés de l'acier. Mais ce qui doit préoccuper d'abord, c'est de savoir si elle a été obtenue par fusion ou par soudage, et si elle présente, par suite, les propriétés inhérentes à ces deux modes de fabrication.

Ceci posé, M. Bresson a indiqué dans son travail la part faite au fer fondu et au fer soudé dans les divers articles, tels que : rails, bandages, essieux, tôles, machine de tréfilage, etc.

C'est ainsi que de 1884 à 1887, c'est-à-dire dans l'espace de quatre ans, les laminoirs allemands ont fourni 404 830 *t* de traverses métalliques. MM. les Ingénieurs de chemins de fer décideront si cet emploi du métal a été judicieux ou non, mais il est certain que l'industrie métallurgique allemande y a trouvé un puissant secours dans la crise qu'elle a traversée.

Il est un autre produit des forges sur lequel M. Bresson appelle également l'attention : c'est celui qu'on désigne sous le nom un peu singulier de machine à tréfilage, et qui sert de point de départ à la fabrication du fil de fer et de ses dérivés, tels que vis, pointes, etc. L'Allemagne en a fabriqué, en 1887, près de 450 000 *t*. C'est dans la Wesphalie et la Prusse Rhénane que les trains de machine se sont multipliés dans les dernières années et, grâce aux efforts d'un syndicat très habilement conduit, l'exportation a dépassé 200 000 *t*. L'Amérique du Sud a été le principal consommateur de ce produit, qu'elle utilise comme clôtures, et c'est l'emploi prompt et judicieux du métal Thomas qui a permis aux usines de la Ruhr de s'emparer de cet important marché.

M. Bresson termine par quelques mots sur les ateliers de construction. La situation de la France par rapport à l'Allemagne, dans le domaine de

la métallurgie proprement dite, se retourne à notre avantage si, s'élevant d'un échelon, on examine la situation des deux pays au point de vue des constructions métalliques. Plus nous nous éloignons de la matière première, plus notre génie national reprend ses droits, et l'Exposition qui va s'ouvrir en est la preuve la plus directe; mais les Allemands ont fait aussi, à cet égard, des progrès incontestables. Dans les dernières années, ces progrès se sont aussi manifestés dans le domaine des constructions navales, et M. Bresson croit avoir fourni sur ce point quelques renseignements nouveaux.

Il résume, en terminant, les résultats financiers que l'Association des maîtres de forges allemands présente chaque année pour l'ensemble de ses adhérents. Le revenu moyen, qui n'avait été en 1879 que de 2,49 0/0, s'est élevé en 1887 à 5,30 0/0. Si la situation s'est notablement améliorée, cela tient, d'une part, au bas prix du charbon, qui a permis à l'Allemagne d'abaisser ses prix de revient au niveau de ceux de l'Angleterre, et de lui disputer avec succès les marchés lointains dont cette dernière avait jusqu'à présent le monopole, mais aussi à l'esprit d'entente qui s'est promptement établi entre les fabricants d'un même article, et leur a permis, en maintenant les prix sur le marché intérieur, d'enlever coûte que coûte les commandes à l'étranger lorsque le besoin s'en faisait sentir. C'est en Allemagne que les syndicats industriels ont trouvé le terrain le plus favorable pour leur développement. Il ne s'agit pas ici, bien entendu, de ces syndicats qui ont pour but des spéculations plus ou moins hasardeuses, mais seulement de ceux qui tendent à une répartition équitable du travail entre les producteurs, en évitant une concurrence ruineuse. M. Bresson conclut en exprimant l'espoir que les industriels français sauront aussi profiter des avantages incontestables que donne la réunion d'efforts intelligents dirigés vers un même objet.

M. le Président est certainement l'interprète de la Société en disant que la communication faite par M. Bresson a été écoutée avec le plus grand intérêt. Les renseignements qu'il nous apporte seront lus avec plaisir dans notre Bulletin; ils expliquent avec une très grande clarté les difficultés de la lutte que nous avons à soutenir contre l'Allemagne, difficultés rendues d'autant plus grandes que ce pays protège puissamment son industrie métallurgique. Si, en ce moment, en particulier, on emploie des traverses en fer en Allemagne ce n'est pas parce que leur usage est jugé préférable à celui des traverses en bois, mais uniquement pour y favoriser l'industrie métallurgique du fer.

M. Périssé présente quelques observations qui lui sont suggérées par deux passages de la communication de M. Bresson. Il nous a dit qu'en Allemagne les deux appellations usuelles d'*Acier* et de *Fer* étaient remplacées par celles de *Fer fondu* et de *Fer soudé*, et que, d'autre part, les efforts les plus grands étaient par tous exercés pour favoriser les exportations en obtenant des commandes à l'étranger.

M. Périssé rappelle que l'article 11 du traité de Francfort donne, en matière commerciale, aux deux parties contractantes, les droits de la nation la plus favorisée. L'Allemagne les exerce, mais nous ne pouvons

pas les exercer par réciprocité parce que l'Allemagne est protectionniste et n'a pas accordé, comme nous, de faveurs à d'autres nations.

Mais, en ce qui concerne les Fers et les Aciers qui sont soumis à des droits différents, l'Allemagne échappe à la surtaxe des Aciers par rapport aux Fers, en déclarant comme *Fers homogènes* ou *Fers fondus* des produits que nous appelons, nous, *Aciers*. A ce point de vue, M. Périssé pense qu'il conviendrait peut-être d'adopter les deux appellations qui sont en usage en Allemagne et qui expriment mieux la différence entre les deux produits. Jusqu'ici, dans la plupart des pays, on a adopté les mots plus simples : Fer et Acier, mais on pourrait profiter des congrès internationaux qui vont se tenir à Paris, cette année, pour remettre cette question à l'étude et pour adopter les mêmes appellations.

C'est d'autant plus nécessaire que les traités de commerce, qui lient la France avec les nations étrangères, arrivent à leur expiration en 1892. et il convient de rédiger les nouveaux traités dans des termes tels que, par une sorte de dénaturation du nom, on n'arrive pas, comme l'Allemagne l'a fait jusqu'ici, à se soustraire à certains droits convenus. Il faut éclairer l'opinion publique sur ce point, et la Société des Ingénieurs civils a qualité pour cette mission.

M. Euverte dit que les maîtres de forges français ont fait entendre, au gouvernement, il y a quelques années, de très sérieuses réclamations, précisément dans le sens indiqué par M. Périssé ; ils faisaient remarquer que le métal fondu, qu'on l'appelle acier ou fer, représente toujours une qualité supérieure et un prix de revient plus élevé. — Il faut, pour produire ce métal fondu, une fonte de qualité supérieure, dont le prix de revient est plus élevé, et en fait, *le fer soudé* est toujours, sur le marché, à un prix inférieur à celui *du fer fondu* ; c'est pourquoi la législation douanière a fixé 6 *f* par 100 *kg* sur l'un et 9 *f* par 100 *kg* sur l'autre.

La question a été renvoyée *au comité consultatif des arts et manufactures* qui avait à donner son avis au gouvernement ; sur un rapport de M. Lan, la question a été tranchée contre l'intérêt français, ce qui est fort regrettable.

Quant à *l'exportation*, il est difficile à la France, on pourrait même dire impossible, de concourir avec l'Allemagne sur les marchés étrangers. En Allemagne, la houille et la main-d'œuvre sont à bas prix ; il n'en est pas de même en France, où la houille est à prix élevé et où nous ne pouvons pas, peut-être même ne devons-nous pas, demander une réduction de prix de la main-d'œuvre.

C'est d'ailleurs par suite de ces considérations que l'industrie métallurgique est protégée, et l'on peut affirmer qu'elle ne vivrait certainement pas sans le système protecteur ; or, il est absolument évident qu'il y a contradiction entre les deux termes *protection* et *exportation*, si nous pouvions être exportateurs de produits métallurgiques, le système protecteur deviendrait inutile ; tout le monde est convaincu que l'on ne saurait en venir à cette conséquence, qui serait l'anéantissement d'une grande industrie nationale.

Mais on peut constater un autre fait très important, c'est que, si la France ne peut pas exporter ses produits métallurgiques à l'état brut, il n'en est pas de même de ses produits manufacturés et travaillés.

Nos mécaniciens, nos constructeurs, ont une grande réputation à l'étranger ; la qualité de nos matières est généralement très appréciée, et certaines industries en reçoivent un développement considérable.

Les constructions navales sont un exemple frappant des conditions dans lesquelles peut s'exercer notre génie national.

S'il faut construire un navire de commerce, nous ne pouvons lutter contre l'Angleterre, qui a organisé une production courante des navires de cette sorte; mais, si un gouvernement étranger a besoin d'une grande et belle construction, où la solidité vient s'allier à la perfection des formes, où les machines sont étudiées de manière à donner les vitesses nécessaires, on s'adresse à la France qui possède une véritable supériorité dans cette industrie.

C'est ainsi que le Japon, l'Espagne, la Grèce, le Chili et bien d'autres contrées encore sont devenues la clientèle de la France pour les constructions de ce genre.

C'est là le véritable écoulement de nos produits métallurgiques.

M. le Président est heureux de constater que la construction française est surtout appréciée par sa supériorité.

Il pense qu'une discussion ne peut être engagée utilement sans que nos collègues aient pris connaissance du mémoire de M. Bresson. L'importance de la question du fer fondu prend chaque jour une importance de plus en plus considérable et la discussion, qui pourra s'engager plus tard, ne pourra qu'être des plus intéressantes.

M. Polonceau dit que le fer phosphoré est utilisé en Autriche pour la fabrication des traverses, sur les chemins de fer de l'État. On obtient avec les traverses métalliques de meilleurs résultats qu'avec des traverses en bois. Les résultats obtenus sont à signaler comme intéressants.

M. Euverte dit qu'il est incontestable que c'est en France que les premières idées relatives à la déphosphoration ont pris naissance, mais ce n'est pas chez nous qu'elle a été réalisée tout d'abord ; c'est en Angleterre que les premiers essais pratiques ont été faits et c'est de là qu'ils ont été importés chez nous. Si des essais plus complets n'ont pas eu lieu précédemment chez nous, cela tient peut-être à ce fait, qu'à cette époque, les régions dans lesquelles existent les minerais phosphorents produisaient uniquement du fer, et n'avaient aucune idée de la production du métal fondu.

D'autre part, les usines qui alors produisaient de l'acier par les procédés Bessemer ou Siemens-Martin, employaient uniquement des minerais de qualité supérieure, et ne croyaient pas à la possibilité d'employer industriellement les minerais phosphorents.

M. Lencauchez demande à ajouter quelques mots aux très judicieuses observations de M. Polonceau.

Il rappelle le mémoire qu'il a précédemment présenté à la Société (1), dans lequel il résumait par ordre historique les progrès de la déphosphoration.

Dès 1830, la déphosphoration se pratiquait aux fours à puddler avec des garnissages calcaro-ferrugineux; en traitant des fontes à 20 0/00 de phosphore, on produisait du fer à 6, 5 et même à 4 0/00 de phosphore.

(1) Bulletin de la Société, livraison de janvier 1880, pages 68 à 81.

M. Farry, en 1861, obtint de la fonte partiellement déphosphorée en puddlant des fontes phosphoreuses, comme ci-dessus, puis en les refondant au cubilot, ce qui réduisait la quantité de phosphore de 20 0/00 à 4 0/00.

En 1865, M. Lencauchez proposa, pour le traitement des fontes phosphoreuses, d'établir des soles et garnissages en pisés et briques de chaux agglomérées au goudron, aussi bien pour les fours à soles que pour les convertisseurs Bessemer, avec transvasement des convertisseurs dans les fours à soles basiques.

M. Bessemer a essayé, en 1867, un convertisseur double transvaseur; l'un de ces convertisseurs jumeaux était à garnissage siliceux (acide) et l'autre à garnissage d'oxyde de fer (basique).

Plus tard, en 1868, M. Heaton proposa de faire filtrer la fonte en fusion sur du nitrate de soude en plaçant ce sel entre deux plaques de tôle perforées. Cette déphosphoration n'était pas plus complète que celle obtenue au four à puddler.

M. Emile Muller se fit breveter, en 1869, pour l'application au convertisseur Bessemer d'un garnissage basique magnésien ; il proposa de charger le convertisseur de chaux vive pendant l'affinage ou soufflage, afin de fournir une base active aux acides silicique et phosphorique et les empêcher d'attaquer le garnissage magnésien.

En 1873, M. Tessié du Motay a fait des garnissages en briques de magnésie (briques d'une remarquable solidité à la densité de 2,350). Il a obtenu de bons résultats sur sole et aussi au moyen d'un convertisseur double en U.

A la séance du 7 août 1874, M. Lencauchez a fait à la Société une communication sur la déphosphoration sur soles fixe et tournante.

M. Lowthian Bell a fait usage, en 1875, pour la déphosphoration des fontes d'un four oscillant basique à garnissage en oxyde de fer.

M. Gruner, dans son remarquable ouvrage sur la métallurgie, proposa, en 1875, de remplacer pour les garnissages basiques la magnésie par la dolomie alumineuse ou par de la dolomie faiblement additionnée d'alumine ferrugineuse, donnant à haute température une fritte agglomérant la masse, soit pour les convertisseurs, soit pour les soles des fours Martin. Plus tard, il a proposé l'agglomération de la dolomie au verre soluble (silicate de soude).

En 1877, MM. Nargès et Binder, Ingénieurs de la Maison Krupp, ont, comme M. L. Bell, obtenu la déphosphoration en travaillant les fontes sur un four à sole tournante à garnissage d'oxyde de fer ; ils chassaient les 14/15 du phosphore à basse température, avant la fusion de l'oxyde soit à 1 350 degrés environ ; ils n'obtenaient qu'une fonte partiellement déphosphorée qui était affinée ou puddlée ultérieurement. Des essais concluants ont été faits à Essen et à Saint-Chamond (Loire), aux Aciéries de la Marine et des Chemins de fer.

M. Paul Audouin, Ingénieur-chimiste à la Compagnie Parisienne du gaz, a proposé, en 1878, le garnissage neutre en fer chromé.

MM. Thomas et Gilchrist, auxquels bien à tort, selon M. Lencauchez,

on attribue tous les mérites de la déphosphoration, n'ont fait que reprendre, en 1878, la question au point où M. Muller l'avait laissée en 1869, mais en établissant le garnissage du convertisseur Bessemer, non plus en magnésie, mais en dolomie, suivant le procédé indiqué par M. Gruner. Pendant deux ans leurs essais restèrent infructueux.

En 1879, M. Lencauchez a proposé le garnissage en magnésie avec la brique de M. Tessié du Motay, pour le four à sole tournante additionnée d'une tuyère rasante à busillon, de 0,010 *mm* de diamètre, recevant du vent sous la pression de 3 *kg*.

Enfin M. Massenez, directeur des Aciéries de Hœrde, en Westphalie, est parvenu, en 1879, à faire des briques en dolomie alumineuse ayant bonne tenue au feu ; avec ces briques, il fit un bon garnissage pour un de ses convertisseurs Bessemer. A partir de ce moment, la déphosphoration au Bessemer basique est entrée dans la pratique industrielle. Les Aciéries de Hœrde sont les concessionnaires en Allemagne des brevets Thomas-Gilchrist.

Après cet historique, M. Lencauchez fait remarquer qu'au point de vue national français il est bon d'ajouter que, si c'est à l'étranger que la déphosphoration a été mise en pratique pour la première fois au Bessemer, on n'y a jamais employé que les procédés décrits dans les brevets de M. Muller, et si on a remplacé la magnésie par la dolomie, c'est encore à un ingénieur français, M. Gruner, que l'on a emprunté cette idée. Quant au sursoufflage revendiqué par MM. Thomas et Gilchrist, il faut remarquer qu'il est aussi ancien que le procédé Bessemer, puisque ce n'est qu'à partir du moment où M. Bessemer a sursoufflé, puis fait l'addition finale de la fonte spéculaire manganésifère, que la fabrication de l'acier Bessemer est devenue industriellement pratique. Seulement, jusqu'en 1880, on sursoufflait sans donner à cette phase de l'opération le nom de *sursoufflage* ; les praticiens disaient qu'ils dépassaient le point (de l'affinage) et qu'il fallait ramener ensuite le métal, soit le désoxyder par la fonte manganésifère spéculaire.

Quant au pisé aggloméré au goudron, M. Lencauchez dit qu'il l'a pratiqué en 1867 et en 1879 avec la chaux ; cette application est décrite dans son brevet du 2 février 1865. L'agglomération de la dolomie au goudron a été pratiquée au Creusot et à Terre-Noire dès 1879, et c'est à tort que M. Riley en réclame la paternité.

M. Lencauchez ajoute que si M. Muller, en 1869, avait établi avec ses briques en magnésie, qu'on fabrique à 200 *f* la tonne, un garnissage de convertisseur, l'usure de ce garnissage magnésien n'aurait représenté par tonne de fonte affinée qu'une dépense de 1,25 *f*, très peu différente de la dépense actuelle en dolomie agglomérée au goudron ; donc, avec un peu plus de persévérance, et surtout sans la guerre de 1870, la déphosphoration aurait été rendue pratique en France dix ans plus tôt. La dolomie carbonatée, sur place, coûte de 5 à 10 *f* la tonne, et la magnésie carbonatée 25 *f* ; mais, comme la magnésie donne des garnissages ayant quatre ou cinq fois plus de durée, son usage serait souvent à préférer à celui de la dolomie agglomérée au goudron dans les usines bien placées pour la recevoir sans grands frais de transport.

La fabrication de l'acier sur soles acide et basique doit être revendiquée au profit d'inventeurs français; en effet, c'est M. Le Châtelier qui, en 1863, a imaginé le premier procédé de fabrication de l'acier sur sole essayé à Montluçon la même année. De 1865 à 1868 MM. Émile et Pierre Martin, et ensuite en 1869, M. F. Verdié, de Firminy, avaient rendu industriellement pratique la fabrication de l'acier dit Martin sur sole siliceuse.

Pour la fabrication de l'acier déphosphoré (donc sur sole basique), M. Lencauchez dit que, dans sa communication du 7 août 1874, il en a donné la formule complète, et que, traduite en anglais et allemand, cette communication a eu un certain retentissement en Amérique, en Allemagne et en Angleterre.

En 1879, il a monté, à Stiring-Wendel, un four à sole tournante et à tuyère rasante, au moyen duquel on a réussi huit opérations sur neuf, du poids de 12 *t* de lingots chacune, c'est-à-dire que 100 *t* de très bon acier déphosphoré ont été obtenues avec des fontes d'Hayange (Moselle) de la dernière qualité. Mais en 1879, le Creusot réalisait la déphosphoration au four Martin à sole fixe en pisé de dolomie agglomérée au goudron, avec voûte en silice (briques dites de Dinas) et avec rang de briques en magnésie, pour séparer au-dessus du bain, le garnissage basique de la silice de la voûte; car le silicate simple de magnésie SiO^2, MgO est aussi infusible que la magnésie elle-même; c'est M. Lencauchez qui a signalé au Creuzot cette solution pratique.

En 1883, M. Lencauchez fit venir de Grèce 500 *t* de carbonate de magnésie, avec lesquels M. Michallet (1) a fabriqué des briques qui ont servi à M. P. Chalmeton (membre de la Société) pour faire, avec succès, de la déphosphoration aux Forges de l'Horme (Loire). Un peu plus tard, on s'est servi de la magnésie de Styrie à Hennebont dans le Morbihan, ainsi qu'en Allemagne, en Belgique et dans l'est et le nord de la France.

Pour établir des voûtes en magnésie, M. Lencauchez a conseillé à M. Michallet de fabriquer des briques en magnésie additionnée de 5, 10, et 15 0/0 de fer chromé, afin de leur enlever leur fragilité au feu: le succès a été complet, mais le prix élevé de ces briques spéciales, 230 *f* la tonne, s'est jusqu'ici opposé à leur emploi.

Vers 1884, MM. Valton et Rémaury ont fait des soles entièrement neutres en fer chromé (par la méthode Audoin). Les renseignements que M. Lencauchez a eus de Russie, pays d'origine du procédé de France, ne sont pas d'accord entre eux. Ici, après avoir utilisé le fer chromé, on l'a remplacé par la magnésie ou la dolomie et on n'a plus établi, comme à Seraing, que le cordon de jonction en fer chromé pour le remplacer même plus tard par la brique en magnésie, comme au Creusot : là, au contraire, on a substitué le fer chromé à la magnésie et on dit que les résultats sont satisfaisants.

D'après M. Lencauchez, le garnissage neutre est aussi pratique que ceux en magnésie et en dolomie ; les métallurgistes doivent se guider uniquement sur le prix de revient du garnissage par tonne de lingots affinés. Or, les positions géographique et géologique des usines peuvent.

(1) De Lorette, près Rive-de-Gier (Loire).

suivant les cas, faire passer du simple au triple le prix de l'une ou de deux de ces matières premières; par suite, le mode d'opérer d'une usine ne doit pas servir de guide pour une autre, qui n'est pas dans la même contrée.

La méthode basique sur sole tournante, mise en pratique en 1880 à Stiring-Wendel avec succès, est employée depuis 1885 aux Aciéries de la Compagnie de Denain et Anzin (Nord), dont les aciers doux basiques ou fers fondus soudables jouissent d'une grande réputation.

M. Lencauchez a toujours considéré la déphosphoration comme étant dans le domaine public, ainsi que l'a décidé, du reste, la Cour suprême de justice aux États-Unis d'Amérique du Nord.

Il a toujours pensé qu'avec des parois basiques, la déphosphoration avec addition de chaux se fait d'elle-même et que, pour la réaliser, il suffisait par conséquent de trouver une bonne paroi basique.

M. Lencauchez rappelle que dès 1878 il disait aux métallurgistes : les aciéries basiques ne seront possibles et pratiques que le jour où le maître de forges, comme le maître de verrerie et le fabricant de zinc, consentira à fabriquer lui-même ses produits réfractaires basiques, avec tous les soins qu'ils réclament, pour leur calcination, leur malaxage au goudron dépourvu d'eau, leur conservation en étuve et leur emploi immédiat sur place, c'est-à-dire sans transport. C'est ce que la pratique a démontré, en ce qui concerne la dolomie, en prouvant bien que la déphosphoration n'est qu'une simple affaire de parois basiques et qu'il y a plus de mérite à avoir fait une bonne brique basique comme M. Tessié du Motay qu'à avoir déphosphoré cent tonnes de fonte sur paroi basique, la déphosphoration se faisant d'elle-même sur cette paroi avec addition de chaux.

M. Lencauchez conclut en disant que la fabrication de l'acier sur sole est exclusivement d'origine française aussi bien sur sole basique que sur sole acide et que de plus les parois basiques et neutres sont également d'origine française, le tout imaginé et mis en pratique en France avant qu'il en fût question dans les autres pays.

M. le Président remercie M. Lencauchez des intéressants renseignements qu'il vient de donner à la Société. Il lui a été donné de suivre les essais faits par M. Tessié du Motay à l'usine de Terre-Noire, et, il est heureux de constater que c'est dans cette usine que la fabrication de l'acier déphosphoré a été tentée pour la première fois. Il considère comme très important de constater que cette invention est due à l'industrie française.

Il est malheureusement vrai que si les Français ont eu la première idée de l'acier déphosphoré, il est incontestable que ce sont les Anglais qui ont rendu sa fabrication pratique. Au Creusot, notamment, on a bien fait quelques essais, mais on ne les a pas poursuivis assez loin.

M. Polonceau dit que des observations qui ont été précédemment présentées, il résulte que les questions industrielles demandent beaucoup de persévérance ; ce n'est que par elle qu'on arrive à de bons résultats, et on ne saurait trop répandre cette idée.

M. Périssé reconnait avec M. Polonceau que les Anglais apportent dans leurs recherches de procédés une persévérance qu'on ne trouve pas

partout au même degré. Mais les industriels anglais disposent de capitaux importants que les industriels français n'ont pas à leur disposition, pour des raisons qu'il serait trop long d'expliquer.

Est-ce à dire que l'esprit de suite et de persévérance n'existe pas dans notre pays ? M. Périssé n'est pas de cet avis, et il a devant lui l'ancien directeur de l'Usine de Terre-Noire, dont la présence lui rappelle que c'est dans cette usine qu'ont été étudiés et mis en pratique les procédés qui ont permis de faire les aciers extra-doux sur la sole d'un four à réverbère.

C'est grâce à la persévérance de la Compagnie de Terre-Noire et à l'habileté de ses ingénieurs que les ferro-manganèses sont entrés dans la pratique courante, et que le procédé Martin, procédé français, a donné à l'industrie des fers fondus remarquables, dont la fabrication a exclusivement appartenu à la France pendant plusieurs années.

M. Euverte dit que les procédés de déphosphoration, aujourd'hui utilisés en France et en Allemagne, ont pris naissance en Angleterre, et que, ce qu'il y a de curieux, c'est que c'est en Angleterre qu'ils ont actuellement le moins d'application. Cela tient à ce que l'Angleterre tient ses minerais phosphoreux en réserve ; elle traite en ce moment les minerais de Bilbao, et quand ceux-ci seront épuisés, elle reviendra à ses minerais phosphoreux.

M. Regnard dit que puisque le nom de notre regretté collègue Tessié du Motay, dont il a eu l'honneur d'être l'un des collaborateurs, a été prononcé au cours de cette discussion, il désire profiter de cette occasion pour rendre hommage à sa mémoire, en rappelant qu'il avait réalisé la déphosphoration sur sole basique en magnésie dès 1872, c'est-à-dire longtemps avant qu'il fût question des procédés Thomas et Gilchrist.

C'est par erreur que M. Lencauchez attribue à l'emploi du borate de soude la qualité très remarquable des briques de magnésie faites par M. Tessié du Motay à son usine d'essais de Commines ; mais ces briques ont permis de faire sur sole, avec des fontes d'Hayange, des aciers présentant 69 *kg* de résistance et 9 à 10 0/0 d'allongement.

La voûte du four étant en silice, on employa, à la jonction des parois siliceuses et magnésiennes, un rang de briques de carbone, et le résultat fut excellent.

Reprises à l'usine de Terre-noire après les essais de Commines, les expériences de M. Tessié du Motay n'eurent malheureusement pas la suite qu'elles devaient comporter. Avant de faire l'opération de fusion sur sole basique, M. Tessié du Motay faisait subir à la fonte une sorte de malaxage dans un appareil fort ingénieux, auquel il avait donné le nom de puddleuse, et qui consistait en une sorte de double convertisseur en magnésie, dont les deux capacités communiquaient à leur base par un tube en U, garni également de magnésie, et dont l'échappement des gaz pouvait être formé à volonté de chaque côté successivement, grâce à l'emploi d'énormes robinets en fonte à circulation d'eau, de façon à refouler la fonte en traitement alternativement dans l'une ou l'autre poche de ce convertisseur double, pour la faire traverser par les produits chimiques employés en vue d'éliminer le phosphore, oxyde de manganèse, nitrate de soude, etc.

Le traitement sur sole en magnésie, avec emploi de ferro-manganèse, s'effectuait dans un four à régénérateur de chaleur, chauffé par les gaz d'un gazogène spécial, inventé par M. Tessié du Motay, et produisant un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène par la décomposition de la vapeur d'eau, dont le soufflage alternait avec celui de l'air.

M. Gassaud a la parole pour présenter une analyse de l'ouvrage de M. le Dr Lafont sur *le Gaz à l'eau.*

M. Gassaud rappelle tout d'abord les titres du Dr Laffont qui est un physiologiste éminent, et il y insiste pour donner, à ce point de vue spécial, une autorité particulière à l'opinion de l'auteur qui pourra paraître un peu paradoxale.

M. le Dr Laffont a été successivement professeur de physiologie à la Faculté de médecine de Lille et à la Faculté des sciences de Bordeaux; il est lauréat de la Société de biologie, de la Faculté de médecine et de l'Institut (Académie des sciences); il a publié de très nombreux travaux, qui, pour la plupart, ont été présentés à la Société de biologie, à l'Académie de médecine ou à l'Académie des sciences: plusieurs ont été faits par le Dr Laffont en collaboration avec ses maîtres Paul Bert et le professeur Jolyet.

L'ouvrage du Dr Laffont est intitulé : *le Gaz d'eau au point de vue du combustible, de la force motrice, de l'éclairage et de l'hygiène.*

C'est ce dernier chapitre qui est le plus intéressant,car il émane d'une personne dont la compétence ne saurait être contestée et il va absolument à l'encontre de l'opinion reçue en la matière.

Dans les autres chapitres, l'auteur aborde des questions avec lesquelles il est peu familiarisé; aussi, a-t-il accepté quelquefois des opinions qui ne sont pas suffisamment justifiées et laissé passer quelques erreurs regrettables.

Une lettre qui se trouve en tête de ce travail lui sert à la fois de dédicace et de préface. M. le Dr Laffont y indique qu'il y a peu de temps il ne croyait pas à l'utilité de fabriquer du gaz d'eau; mais,depuis, l'étude de la question, qu'il ignorait jusqu'alors, a complètement modifié sa manière de voir à ce sujet; aussi a-t-il actuellement toute l'ardeur du néophyte qui veut faire des prosélytes,ce qui l'entraîne à quelques exagérations.

Pourtant la question n'est pas nouvelle et M. Gassaud résume son historique en citant d'après le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale* de 1882 un extrait d'un très intéressant mémoire sur ce sujet :

« Gazogène à gaz à l'eau (CO et H). — Le gaz combustible dû à la » décomposition de la vapeur d'eau et à la production de l'hydrogène et » de l'oxyde de carbone a été étudié par Ebelmen vers 1838, et plus tard » par Sire, Laurens et Thomas, professeurs à l'École centrale des Arts et » Manufactures. En 1865 et 1866, j'ai *(c'est M. Lencauchez qui parle)* » fait une proposition dans ce sens en recommandant notre récupérateur » double en fonte pour porter la vapeur de 100 à 250° et en céramique » pour la porter de 250 à 1,000 ou 1,200°...... Cette proposition est restée sans effet. »

« En 1872, feu M. Tessié du Motay fit de nombreux essais de produc- » tion de gaz à l'eau (CO et H); à cet effet, il employait un gazogène à

» cuve conique reposant sur sa grande base et faisait opérer comme suit:

» 1° Pendant dix minutes on soufflait au vent et le gaz produit se ren » dait au gazomètre, ce gaz était celui des gazogènes ordinaires 65 à » 70 0/0 d'azote, dit gaz des fourneaux.

» 2° L'insufflation de vent était suspendue, on injectait pendant cinq » minutes dans le gazogène de la vapeur d'eau à 100°; celle-ci donnait » en moyenne 25 0/0 du volume total en gaz CO et H qui était dirigé » dans un gazomètre. Le gaz à l'eau avait en général la composition sui- » vante. »

H. . . .	46	à	45
CO . . .	47		46
CO^2. . .	3		4
Az. . . .	4		5
	100		100

Les appareils brevetés, que décrit le Dr Laffont, sont, à quelques perfectionnements intéressants près, les mêmes que ceux de M. Tessié du Motay, mais les rendements indiqués sont beaucoup supérieurs.

La théorie de la fabrication reste la même : au début, le gazogène est soufflé au vent et, grâce à l'épaisseur de la couche de combustible, le gaz sortant du gazogène pendant ce premier temps de l'opération est un mélange d'azote et d'oxyde de carbone.

Cette première période se termine lorsque le foyer est arrivé à une température suffisamment élevée, ce que l'on peut juger par des regards. A ce moment, on arrête la soufflerie et on ferme la conduite de gaz de fourneau. On fait pénétrer un jet de vapeur d'eau (du côté opposé à l'arrivée de l'air de la soufflerie) et on ouvre une conduite pour la sortie du gaz d'eau (du côté opposé à la sortie du gaz de fourneau).

La vapeur d'eau arrivant sur du charbon rouge se décompose en hydrogène et acide carbonique, mais ce mélange gazeux, cheminant au travers d'une couche de charbon de plus en plus chaude, l'acide carbonique, à son tour, est dissocié et transformé en oxyde de carbone. 500 vol. de vapeur d'eau contenant 500 vol. d'hydrogène et 250 vol. d'oxygène le gaz d'eau sera formé théoriquement de volumes égaux d'hydrogène et d'oxyde de carbone, et 500 *l* de vapeur d'eau donneront un mètre cube de gaz d'eau.

La dissociation de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique absorbent de la chaleur et par suite refroidissent le foyer ; si l'on prolongeait trop longtemps l'arrivée de la vapeur, l'acide carbonique ne serait plus dissocié. La deuxième phase de l'opération sera donc terminée lorsque le gazogène cesse d'être à une température suffisante pour la dissociation de l'acide carbonique. Il faut alors interrompre l'arrivée de vapeur et la communication avec le gazomètre à gaz d'eau et rétablir l'arrivée de vent et la sortie pour le gaz de fourneau, etc.

Il convient de remarquer que dans le gaz d'eau obtenu pratiquement, par les appareils décrits, comme par ceux de M. Tessié du Motay, il y a toujous environ 5 0/0 d'azote provenant du gaz de fourneau restant dans la couche de charbon au moment de l'arrivée de vapeur, et environ autant d'acide carbonique provenant de ce que les phénomènes de dissociation ne sont jamais complets.

Quant au rendement de l'appareil qu'indique le Dr Laffont, M. Gassaud ne saurait admettre les chiffres qu'il fournit.

M. Laffont indique que le rendement est théoriquement de 100 0/0, pratiquement, il est de 90 0/0, en tenant compte du charbon dépensé, pour produire la vapeur qui doit être décomposée et celle nécessaire pour activer la soufflerie.

Cette manière de s'exprimer parait vicieuse à M. Gassaud qui pense que le rendement théorique se confond avec le rendement pratique, si l'on s'est donné la peine de calculer ou du moins d'estimer les différentes causes de pertes.

Néanmoins, en suivant les calculs du Dr Laffont, on remarque (p. 78) qu'il calcule la quantité de *carbone* qu'il faut transformer en acide carbonique pour développer la quantité de chaleur nécessaire à la production de la vapeur indiquée plus haut : il y a lieu de tenir compte du coefficient de rendement des chaudières. M. Laffont estime qu'il varie de 60 à 65 0/0 (p. 95) ; on pourrait critiquer ce chiffre, mais en l'adoptant on trouve qu'il faut multiplier la quantité de carbone qu'il indique par $\frac{100}{62.5} = 1{,}6$.

Le rendement devient alors 0,85 et non 0,90 et il convient de remarquer que ce nombre est de beaucoup trop fort et très loin du rendement réel, car on n'a tenu compte ni de la perte de chaleur par conductibilité des matériaux et rayonnement dans le gazogène, ni de la distillation du combustible pendant les périodes où le foyer est soufflé, ni surtout de la chaleur emportée par les gaz de la combustion, chaleur qui est énorme et ne peut être utilisée lorsque les gaz sortant du gazogène sont conduits à distance dans des gazomètres et épurés.

Du reste, M. Lencauchez, dans le mémoire cité plus haut, indique que le rendement des gazogènes n'est guère que de 60 à 65 0/0 ; il n'y a donc pas à s'étonner que les appareils décrits par le Dr Laffont n'aient pas le rendement qu'il avait espéré, qui n'est, du reste, réalisable avec aucun appareil,

Les chiffres *pratiques* fournis par l'auteur sont également critiquables ; ainsi on lit page 67 qu'une tonne de houille donne 300 *m*³ de gaz de distillation ou 1 000 *m*³ de gaz d'eau et 4 000 *m*³ de gaz Siemens (ou gaz de fourneau). Or, si on fait le compte de la quantité de carbone qui entre

dans 1 *m*³ de gaz d'eau on trouve.	268 *gr*
et dans 4 *m*³ de gaz de fourneau. . 185 *gr* × 4 =	740
	1 008 *gr*

L'erreur est encore ici plus évidente, car il faudrait ajouter à ces 1 008 *gr* de carbone les 63 *gr* × 1,6 nécessaires pour produire la vapeur d'eau et faire marcher la soufflerie. On a ainsi 1 008 + 101 = 1 109 *gr*.

Pour que les nombres ci-dessus indiqués, relatifs au gaz d'eau, fussen possibles, il faudrait qu'un kilogramme du combustible considéré contienne 1 109 *gr* de *carbone*. En d'autres termes, pour produire 1 000 *m*³ de gaz d'eau et 4 000 *m*³ de gaz de fourneau, il faudra : pour l'anthracite à 92 0/0 de carbone, $1\,109\,kg \times \frac{100}{92} = 1\,205\,kg$; pour le coke à 30 0/0 de

cendres et 70 0/0 de carbone, considéré par le Dr Laffont,

$$1\,109\ kg \times \frac{100}{70} = 1\,584\ kg.$$

Le chapitre relatif à l'emploi du gaz d'eau pour produire la force motrice signale une utilisation du gaz d'eau qui paraît pouvoir être, dans l'avenir, des plus intéressantes.

M. Gassaud ne discute pas les chiffres donnés dans ce chapitre par le Dr Laffont, qui a reconnu depuis qu'il a été induit en erreur. Il parle de moteurs qui ne consommeraient que 500 *l* de gaz Dowson par cheval et par heure; or, en réalité, les moteurs consomment de 800 à 1 000 *l* de gaz de distillation de la houille, qui a une puissance calorifique qui est plus de quatre fois supérieure à celle du gaz Dowson.

A ce sujet, M. Gassaud croit devoir citer l'opinion de M. Aimé Witz, le savant ingénieur, professeur de physique à la Faculté libre de Lille.

« Le moteur à gaz *(comparé à la machine à vapeur)* est manifestement » écrasé aussitôt qu'on aborde les grandes forces motrices; la lutte est » impossible à partir de dix chevaux, elle serait insensée pour quarante » chevaux, puisque le prix de revient du cheval-heure-gaz est presque » triple de celui du cheval-heure-vapeur.

» On s'explique de la sorte le peu d'empressement des constructeurs » à produire de grands moteurs.

» Cherchons à pénétrer les causes de cette infériorité.

» Remarquez d'abord que ce n'est qu'une infériorité économique; en » effet, le moteur à gaz de 40 chevaux n'exige pas plus de chaleur » que la machine à vapeur pour produire le travail d'un cheval; mais » la calorie-gaz coûte beaucoup plus cher que la calorie-vapeur.

» Cette proposition est facile à établir.

» Une bonne machine à vapeur Corliss consomme pour le moins par » cheval-heure 8 *k* de vapeur à 150°. La chaleur totale de vapeur cor- » respondante est égale à $8\ (606,5 + 0,305 \times 150) = 5\,218$ calories. » C'est précisément la chaleur de combustion de mille *l* de gaz des usines. » Mais un bon moteur ne dépense pas plus de 900 *l* par cheval-heure : » Ce moteur à gaz est donc *pratiquement* meilleur que la machine à » vapeur. Son infériorité n'est qu'apparente.

» Il est vaincu dans la lutte économique parce qu'il ne combat pas à » armes égales : il est grevé de tous les bénéfices des Compagnies ga- » zières et des impôts draconiens des municipalités (1). »

L'éminent ingénieur, poursuivant sa comparaison, trouve qu'un industriel qui fabriquerait pour ses besoins du gaz Dowson au lieu de fabriquer de la vapeur aurait avec un moteur à gaz de 40 chevaux une dépense inférieure (0,07 *f* par cheval-heure) à celle qu'il a avec une machine à vapeur, même perfectionnée comme la machine Corliss indiquée plus haut (0,08 *f* par cheval-heure).

Dans un chapitre spécial, le Dr Laffont examine le prix de revient du gaz d'eau, mais sans donner un sous-détail de ce prix de revient : il se contente d'indiquer quelques prix, peu concordants du reste, d'après quelques ingénieurs étrangers. M. Gassaud ne rappellera que celui de 0,05 *f* au maximum par m^3, cité d'après M. Blas, qui lui paraît approché de la vérité d'après les renseignements qu'il a eus sur la question.

(1) A. Witz. *Traité des moteurs à gaz*, pages 278 et suivantes.

Enfin, dans le dernier chapitre, le Dr Laffont traite longuement la question de l'utilisation du gaz d'eau pour l'éclairage, le chauffage industriel et le chauffage domestique.

Or, on sait que le gaz d'eau brûle avec une flamme très chaude mais non éclairante. Si l'on veut l'utiliser pour l'éclairage il faut donc ou le carburer préalablement (système de l'albo-carbone, par exemple) ou s'en servir pour porter au rouge blanc un corps solide et en particulier de la magnésie qui peut donner ainsi une belle lumière.

Du procédé de carburation M. Laffont n'en veut pas, car il fait le procès des carbures d'hydrogène en général et du gaz de distillation de la houille en particulier.

Il trouve qu'au point de vue de l'hygiène il est mauvais parce qu'il absorbe trop d'oxygène en brûlant et dégage par conséquent une grande quantité d'acide carbonique et de vapeur d'eau — un mètre cube de gaz ordinaire d'éclairage exige, pour brûler, 5,5 m^3 d'air et le gaz d'eau n'exige que 2.1 m^3, — le premier produit en brûlant 544 *l* d'acide carbonique et 1 286 *l* de vapeur d'eau, tandis que 1 m^3 du second ne produit que 410 *l* d'acide carbonique et environ 500 *l* de vapeur d'eau.

En outre, dit-il, la combustion du gaz ordinaire d'éclairage est toujours incomplète il se produit par suite de l'acetylène (d'après M. Berthelot), il se dégage de l'oxyde de carbone et enfin des vapeurs sulfuriques; et tous ces produits éminemment dangereux ne sont pas à redouter lorsqu'on brûle du gaz d'eau, car la combustion qui se produit sur une petite surface est toujours complète à cause de la haute température, en sorte que le gaz d'eau qui dans la conduite peut, dit le Dr Laffont, être *considéré* comme plus vénéneux que le gaz de distillation de la houille, l'est moins, en réalité, lorsqu'on le brûle. On sait, en effet, par les travaux de M. Berthelot, que l'oxyde de carbone brûlant avant l'hydrogène, aucune trace de l'oxyde de carbone du gaz d'eau ne pourra échapper à la combustion.

Il ajoute, s'appuyant sur l'autorité de son confrère le professeur Chandler, président du Conseil d'hygiène de New-York, que le gaz est acheté pour être brûlé et non pour être aspiré: il faut donc se préoccuper, avant tout, des avantages et des inconvénients que procure l'usage normal de ce gaz.

Du reste, dit le Dr Laffont, une lutte très vive a existé aux États-Unis entre le gaz d'eau et le gaz de distillation de la houille et elle a tourné à l'avantage du premier, toutes les notabilités scientifiques d'Amériqne l'ont reconnu.

Le Dr Chandler dit dans son rapport: « Je ne trouve absolument rien » à dire au gaz d'eau; il contient certainement plus d'oxyde de carbone » que le gaz de houille, mais on achète le gaz pour le brûler et non pour » l'aspirer. » Il cite encore de la même personne le propos suivant: « Je » suis en rapport avec tous les chimistes éminents des États-Unis et je » n'en connais pas un qui considère le gaz d'eau comme plus dangereux » que le gaz de houille.... »

D'après le Dr Laffont, lorsque le gaz d'eau destiné à l'éclairage et au chauffage domestique a été préalablement *odorisé* (l'augmentation de prix du mètre cube est assez faible de ce chef), ses fuites seraient moins à redouter que celles du gaz de distillation. En effet, dit-il, il est moins explosif; ses limites d'explosion sont plus étroites et dans tous les cas sa

puissance explosive est plus faible; il est plus lourd que le gaz ordinaire et par suite se diffuserait moins que lui (*s'il était homogène*); enfin composé d'hydrogène et d'oxyde de carbone il attaquerait moins les conduites.

La première de ces observations est absolument fondée; mais, comme il n'est pas contestable que le gaz d'eau soit plus toxique que le gaz ordinaire, ses fuites sont au moins aussi dangereuses, si non plus.

L'appareil à incandescence que recommande le Dr Laffont pour utiliser le gaz d'eau pour l'éclairage est très ingénieux: il est dû à un Ingénieur suédois, M. Otto-Fahnehjelm. Il est formé d'un peigne à carcasse métallique dont la denture est composée d'aiguilles de magnésie à peu près de la grosseur d'une allumette-bougie. Ce peigne se fixe au dessus d'un bec Manchester; il est très rapidement porté à l'incandescence et offre une très grande surface de rayonnement. L'aspect de la flamme brûlant au milieu de ces nombreuses aiguilles de magnésie est réellement très satisfaisant.

Si l'on compare cet éclairage à celui donné par le gaz de la ville de Paris, brûlant dans un bec papillon, on trouve qu'à consommation égale le gaz d'eau accuse au photomètre une intensité lumineuse plus considérable.

Toutefois, il faut reconnaître un inconvénient au bec Otto-Fahnehjelm, c'est l'usure des aiguilles de magnésie dit M. Laffont que les peignes durent soixante heures et coûtent seulement 0,10 *f* (0,01 *f* pour le rechargement en magnésie).

M. Gassaud croit, d'après les renseignements qu'il s'est procurés à ce sujet, que la durée des peignes est peut-être un peu plus grande, quatre-vingts heures environ, mais que leur prix est plus élevé environ 0,20 *f* et le coût du rechargement serait presque égal à celui de l'achat (0,025 *f* en moins pour l'armature métallique).

Enfin, laissant de côté l'utilisation du gaz d'eau comme éclairage, M. Gassaud termine en examinant la question de son emploi comme chauffage, et surtout comme chauffage industriel. Il semble que ce soit véritablement là l'avenir du gaz d'eau.

Les indications fournies à ce sujet par M. Laffont se rapportent exclusivement à la métallurgie et sont un peu insuffisantes. Il cite l'opinion de M. Joseph de Langer: « Dans les endroits où l'on s'est servi de gaz d'eau, on a obtenu des résultats qui ont dépassé toute espérance, » et il indique, comme possible, d'après le même Ingénieur, pour le chauffage des fours à réchauffer et des fours à fusion de l'acier, des économies allant à 72 et 50 0/0: on aimerait à voir ces nombres confirmés par des expériences dirigées par des ingénieurs désintéressés dans la question et d'une compétence incontestable.

Dans tous les cas le Dr Laffont remarque, avec raison, que l'économie procurée par l'emploi du gaz d'eau tient surtout à la rapidité d'action de ce gaz à cause de sa haute température de combustion: la durée des opérations se trouve ainsi considérablement abrégée et les pertes de chaleur qui sont fonction du temps se trouvent diminuées proportionnellement.

M. Laffont parle aussi de l'emploi du gaz d'eau pour le soudage de certains tubes qu'il ne désigne pas.

M. Polonceau. C'est pour braser les tubes.

M. Euverte. Ou pour souder les chaudières ondulées.

M. Gassaud. Et pour ce travail il y aurait une économie considérable par l'emploi du gaz d'eau : avec un feu de coke (coke à 12 *f* la tonne) quatre ouvriers ne pourraient en souder que deux mètres en douze heures, tandis qu'avec le gaz d'eau trois ouvriers pourraient en souder deux mètres soixante-quinze à l'heure ; si bien que le prix de revient au mètre s'abaisserait de 22 *f* à 4 *f*.

La différence paraitra peut-être un peu forte, mais ce qui est certain c'est que le gaz d'eau est merveilleusement approprié à ce genre de travail. On ne court pas le risque de brûler le métal, par une simple manœuvre de robinets ou de vannes, on règle les propriétés de la flamme qui sera, à volonté, oxydante ou réductrice.

Il est à remarquer d'ailleurs que lorsque des constructeurs se trouvent en concours, ce sont ceux qui emploient le gaz d'eau qui ont l'avantage, ce qui semble indiquer que leur prix de revient est inférieur.

En fait, M. Gassaud qui s'est procuré quelques renseignements particuliers sur l'emploi du gaz d'eau, dit qu'à Fürstenwalde (Allemagne), on fait usage de ce gaz pour la fabrication des chaudières et grands réservoirs sans rivure. On en est très satisfait et on cache soigneusement le mode d'emploi ; l'économie, toutefois, serait loin d'être celle indiquée par le Dr Laffont : une équipe souderait par heure 20 à 22 *cm* en trois chaudes.

M. Massenez, directeur des forges de Hörde, aurait affirmé à un ingénieur français qu'à l'aide du gaz d'eau il serait parvenu à fabriquer au creuset de l'acier doux en trois heures, au lieu de cinq à sept nécessaires avec le gaz de générateurs Bicheroux.

Quoi qu'il en soit de ces affirmations difficiles à contrôler, et bien que des ingénieurs très compétents pensent que le gaz de distillation de la houille et le gaz des fourneaux suffisent à tous les besoins de l'éclairage, du chauffage domestique et de l'alimentation des moteurs à gaz, d'une part, du chauffage industriel et en particulier de la métallurgie, d'autre part, M. Gassaud estime que l'étude du gaz d'eau est très intéressante, car le gaz d'eau permet d'obtenir des températures que le gaz d'éclairage ordinaire ne donne qu'avec un courant d'oxygène pur.

Cet ouvrage fournit sur la question des renseignements utiles malgré les quelques inexactitudes signalées. Ces inexactitudes, qui n'échapperont pas aux personnes compétentes lisant son travail, sont d'ailleurs excusables se rencontrant sous la plume d'une personne qui, par la nature même de ses occupations habituelles, est moins familiarisée avec le calcul du rendement des machines qu'avec les recherches de physiologie, recherches grâce auxquelles le Dr Laffont s'est fait un nom comme physiologiste, en marchant sur les traces de son maitre, Paul Bert.

M. le Président remercie M. Gassaud de l'analyse qu'il vient de présenter de l'intéressant ouvrage de M. le Dr Laffont ; il remercie également M. Laffont d'avoir appelé l'attention de la Société sur ces questions, qui soulèvent, il est vrai, bien des objections tant au point de vue hygiénique qu'au point de vue économique.

Il est trop tard pour les discuter aujourd'hui, on les examinera dans une prochaine séance.

La séance est levée à onze heures.

NOTE

SUR

L'ÉTAT ACTUEL DE LA MÉTALLURGIE DU FER ET DE L'ACIER EN ALLEMAGNE

PAR

M. G. BRESSON

La situation difficile dans laquelle se trouve notre industrie métallurgique nous fait un devoir de rechercher les causes qui ont conduit à cette situation. Parmi ces causes il en est d'intérieures ; on peut apprécier différemment leur nature et leur gravité, nous ne les examinerons pas ici. Quant aux circonstances extérieures qui motivent l'arrêt survenu dans le développement de nos forges et la ruine de quelques-unes d'entre elles, on doit mettre en première ligne l'extension qu'a prise depuis la guerre de 1870 l'industrie du fer et de l'acier sur toutes nos frontières. Si, envisageant la fabrication de la fonte comme mesure de ce développement, nous portons d'abord nos regards vers l'Angleterre et la Belgique, nous nous trouvons, il est vrai, pour ces deux pays, en présence d'une augmentation relativement modérée (5 869 000 *t* en 1870 contre 7 324 000 *t* en 1887 pour la première, et 565 000 contre 754 000 pour la seconde). La Suède et l'Autriche qui jouent d'ailleurs un rôle secondaire se développent dans une proportion à peu près égale ; mais nous voyons dans la même période l'Allemagne passer de 1 155 000 à 3 990 000 *t*, et *tripler* ainsi sa production ; l'Amérique fait de même, et cela sur une échelle double, puisque ses hauts fourneaux qui ne produisaient en 1870 que 2 054 000 *t* de fonte en fournissaient, en 1887, 7 914 000 *t*, c'est-à-dire plus que l'Angleterre elle-même, jusqu'alors souveraine incontestée de la production métallurgique.

Si nous examinons maintenant ce qui se passe chez nous, nous devons constater qu'après un accroissement rapide de 1870 à 1875 (923 000 à 1 416 000) nous sommes restés depuis lors à peu près stationnaires (1 610 000 en 1887), soit moins de 200 000 *t* d'augmentation pour une période de 12 ans. En remontant à une époque plus reculée, la comparaison avec l'Allemagne devient encore plus pénible, puisque la supériorité que nous avions par rapport à elle en 1860 (797 000 *t* contre 395 000) a non seulement disparu, mais fait place à la différence en moins indiquée ci-dessus. C'est après la guerre victorieuse de 1866 contre l'Autriche, que nos voisins d'outre-Rhin prennent le pas sur nous. Sadowa et Sedan sont bien sur le terrain industriel comme sur le terrain politique les deux étapes de l'extension germanique (1).

Ce rapide aperçu montre qu'une étude générale de la situation métallurgique de l'Amérique et de l'Allemagne présente pour nous en ce moment un réel intérêt. L'Exposition qui va s'ouvrir et à laquelle les États-Unis ont décidé de prendre une large part, fournira de nombreux documents sur la situation de ce grand pays. L'Allemagne ne nous donnera pas les mêmes éléments d'information, et l'auteur de ce mémoire a pensé qu'il n'était pas inutile d'aller chercher chez elle les renseignements qu'elle refusait de nous apporter. Nous avons donné à notre travail une forme analogue à celle précédemment adoptée pour une étude du même genre que nous avons présentée à la Société en 1884, et à laquelle elle a bien voulu faire un accueil favorable (2). Il s'agissait alors de la *Monarchie austro-hongroise*, et notre étude actuelle sur l'*Empire allemand* en forme en quelque sorte la suite naturelle. Nous examinerons donc d'abord la situation de l'Allemagne au point de vue des minerais extraits de son sol, et de ceux qu'elle importe en quantités de plus en plus considérables. Un chapitre sera consacré à l'étude du combustible, dont elle a été si généreusement pourvue. La fabrication de la fonte, puis celle du fer et de l'acier bruts seront chacune l'objet d'une subdivision spéciale, suivie à son tour de l'examen des établissements qui

(1) Ces données statistiques sont empruntées à une communication faite au congrès des maîtres de forges allemands, tenu à Hambourg au mois de septembre dernier, sous le titre suivant : *Développement de l'industrie sidérurgique allemande et son importance actuelle pour l'exportation*. Ils ne concordent peut-être pas exactement avec les renseignements officiels des divers pays mentionnés, mais l'écart ne saurait dans aucun cas être assez grand pour modifier nos conclusions.

(2) Note sur l'état actuel de la métallurgie du fer et de l'acier en Autriche-Hongrie, présentée dans la séance du 1er février 1884 et publiée *in extenso* dans le Bulletin du même mois.

mettent en œuvre ces demi-produits, d'abord par le laminage et le martelage, puis par la dernière élaboration qu'ils subissent dans les ateliers de construction. Nous avons tenu à pousser jusque-là notre travail, parce que c'est ici surtout que, depuis dix ans, les progrès ont été considérables, non seulement pour les grands travaux destinés à la terre ferme, mais encore pour les constructions navales, dans lesquelles l'Angleterre et la France occupent jusqu'à présent le premier rang. L'Allemagne sentant qu'il reste peu à faire sur notre vieux continent met sa métallurgie au service de son développement maritime, et c'est là un point sur lequel nous aurons soin d'insister.

Il est aisé de comprendre qu'on ne saurait songer à décrire *de visu* toutes les parties d'une industrie aussi considérable. La littérature technique allemande offre heureusement pour un travail de ce genre des ressources que la nôtre ne présente peut-être pas au même degré. Le « Journal prussien pour les mines, les usines et les salines » (*Preussische Zeitschrift für Berg-Hütten- und Salinen-Wesen*), qui possède les mêmes attacheso fficielles que nos Annales des Mines, fournit des statistiques au moins aussi complètes et aussi détaillées que celles émanant de notre administration. Il paraît en outre à Dusseldorf sous le titre « Acier et fer » (*Stahl und Eisen*) une excellente publication mensuelle, toute spécialement consacrée à l'étude des questions sidérurgiques. Cette revue, qui est en même temps l'organe officieux du groupe nord-ouest de l'Association allemande des fabricants de fer et d'acier, pourrait être comparée à notre Bulletin de la Société de l'Industrie minérale, mais avec une spécialisation encore plus grande du sujet qui nous occupe. Le Bulletin de notre Société publie régulièrement les sommaires du *Journal de la Société des Ingénieurs allemands*, et chacun peut ainsi s'assurer que les questions métallurgiques, sans y occuper une place prépondérante, n'y sont point négligées. Enfin l'Allemagne possède comme nous un grand nombre de publications techniques et industrielles dues à l'initiative privée (*Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Von Glaser*, publiées à Berlin; *Uhland's Wochenschrift für Industrie und Technik*, paraissant à Leipsig, *Dingler's polytechnisches Journal*, édité à Stuttgart, etc., etc. C'est en puisant à toutes ces sources que je suis arrivé à former un tableau que je crois exact de l'état actuel de l'industrie du fer et de l'acier en Allemagne.

Avant de suivre le programme que j'ai esquissé en commençant, je voudrais ajouter quelques mots sur la situation géographique

de l'empire allemand surtout au point de vue des voies de communicaton et de la répartition des richesses naturelles dans les diverses provinces de l'empire. En Allemagne, comme chez nous, cette répartition est loin d'être uniforme pour toute la surface du territoire, et les bassins houillers ont peu à peu exercé une force d'attraction irrésistible sur l'industrie métallurgique. Ce que sont en France le bassin de Saint-Étienne, le bassin du Nord et du Pas-de-Calais, le bassin de la Ruhr et le bassin de la Haute-Silésie le sont pour l'Allemagne. Le bassin de la Ruhr surtout, mis directement en communication avec la mer par un grand fleuve, a pris un développement absolument exceptionnel, comme le montrent les données statistiques suivantes concernant les deux provinces sur lesquelles il s'étend, à savoir la Prusse Rhénane et la Westphalie. C'est ainsi que la population de l'empire allemand avec ses 46 855 404 habitants (d'après le recensement de 1885) n'étant en moyenne que de 87 habitants par kilomètre carré, celle de la Prusse Rhénane est pour la même superficie de 161 habitants, celle de la Westphalie de 109 et celle de la Silésie de 102. De même, tandis que pendant les quinze années de 1870 à 1885, l'accroissement moyen annuel de la population n'a été pour l'Allemagne que de 0,95 0/0, celui de la Westphalie et de la Prusse Rhénane réunies a été dans la même période de 1,47 0/0. Dans ces deux provinces la houille est devenue l'aliment d'une véritable armée de travailleurs, parmi lesquels ceux de l'industrie métallurgique occupent le premier rang.

Cette densité et cet accroissement rapide de la population trouvent également leur expression dans le développement des cités industrielles qui l'abritent. C'est ainsi que la seule province de la Prusse Rhénane avec sa superficie relativement faible de 26 980 km^2 (540 797 pour l'empire allemand tout entier) possédait à la fin de 1885, 20 villes de 20 000 habitants et plus, tandis que le royaume de Bavière n'en comptait que 11, le royaume de Saxe, 9, le Wurtemberg, 4, et le grand-duché de Bade, seulement 3. Dans la période de 15 années que nous embrassons, la population de Cologne est passée de 129 000 à 161 000 habitants (1); Dusseldorf, de 69 000 à 165 000; Elberfeld, de 71 000 à 106 000; Aix-la-Chapelle, de 74 000 à 95 000; Essen, de 51 000 à 65 000; Duisbourg, de 30 000 à 47 517; Remscheid, de 22 000 à 33 000; Mulheim-

(1) Il nous arrivera souvent dans ce travail d'arrondir les chiffres que nous citons en négligeant les unités, les dizaines et même les centaines. Nous ne cherchons pas ici à faire de la statistique minutieuse, mais à esquisser à grands traits une situation déterminée.

sur-le-Rhin, de 13 000 à 25 000; Oberhausen, de 12 000 à 20 000. Nous avons pris ici de préférence les localités qui reviendront souvent sous notre plume comme centres de la fabrication du fer et de l'acier, sans avoir épuisé une nomenclature qui pourrait être encore beaucoup plus complète (1).

Tandis que la population occupée dans les mines et les usines métallurgiques est pour l'Allemagne entière de 431 707 ouvriers, la même population pour la Prusse Rhénane et la Westphalie est de 213 719, soit près de 50 0/0. Cette région devra donc occuper dans notre étude une place absolument prépondérante. La Silésie, à l'autre extrémité de l'empire, devra fixer également notre attention. Si nous rattachons à celle-ci l'industrieux royaume de Saxe ainsi qu'au bassin de la Ruhr, le pays de la Sarre et la Lorraine allemande, que nous ne pouvons malheureusement oublier ici, il ne nous restera plus qu'à parcourir rapidement les établissements situés dans le massif montagneux de l'Allemagne centrale qui s'appuie d'une part sur la province de Hanovre et le duché de Brunswick, de l'autre, sur la Thuringe, la Hesse et le duché de Nassau. Cette région, moins riche en combustible minéral que les précédentes, est encore aujourd'hui le grand centre de production des minerais, et grâce à ses forêts elle est aussi le dernier refuge de la fabrication du fer au bois.

L'Allemagne est sillonnée par de nombreux cours d'eau dont les principaux, descendant du grand massif central européen, suivent une direction à peu près Nord-Sud pour aller tous se jeter dans la mer Baltique et la mer du Nord. Nous avons déjà dit que le Rhin occupe parmi eux une situation absolument prépondérante que quelques chiffres nous permettront de préciser.

De Coblenz à la frontière hollandaise, le Rhin présente un parcours de 272 *km* avec une pente de 49,6 *m* et une largeur croissant de 320 à 360 *m*. Le service de la navigation comptait en 1886, 165 bateaux à vapeur à roues, 359 navires à hélice, 847 voiliers et chalands en fer, 4 587 navires divers en bois. La station d'Emmerich, port-frontière entre l'Allemagne et la Hollande, avait été passée à la remonte par 7 267 navires sur lest, et 7 820 navires en charge représentant 1 903 856 *t* dont 364 680 *t* de minerais de fer et 58 299 *t* de fontes. Notons en passant que l'importation des fontes par cette voie fluviale a beaucoup diminué, car elle était

(1) Nous avons emprunté ces renseignements à un travail fort étendu de M. Max Kraft, professeur et recteur de l'école supérieure technique de Brunn, en Autriche, publié en 1888 sous le titre de : *l'Industrie du fer dans la province du Rhin.*

encore de 221 000 *t* en 1882, et de 138 000 *t* en 1884. Les chiffres correspondants à la descente ont été en 1886 de 14 174 navires en charge et de 426 sur lest donnant un tonnage de 2 614 050 *t* comprenant 1 637 000 *t* de houille, 196 000 *t* de fer et aciers forgés et laminés. En 1882, l'exportation des fers n'était que de 92 900 *t*; en 1884, elle s'élevait déjà à 108 000 *t*. Ainsi, l'importation des fontes a diminué, et l'exportation des fers a augmenté, signe évident de prospérité.

La navigation du Rhin a été favorisée en 1873 par la création d'un touage. Établi d'abord seulement sur la section Emmerich Ruhrort, il a été continué successivement en amont, jusqu'à Cologne en 1876, puis jusqu'à Saint-Goar et Bingen. La redevance établie est très faible et ne dépasse pas en moyenne 0,3 pfennings par tonne kilométrique.

Sans insister sur la nomenclature et les installations des divers ports du Rhin, qui tous, à partir de Cologne, ont une importance notable dans le mouvement des produits métallurgiques, nous entrerons dans quelques détails sur celui de Ruhrort. Situé comme son nom l'indique à l'embouchure de la Ruhr dans le Rhin, il est devenu en même temps la tête de ligne des nombreux chemins de fer qui sillonnent le bassin de cette rivière. Le port de Ruhrort et ses annexes occupent une surface de 165 *ha*, dont 51,5 *ha* de bassins, desservis par 37 *km* de chemins de fer. Le mouvement des marchandises qui s'élevait déjà en 1885 à 2 439 000 *t*, transportées par 17 000 navires, est facilité par des installations très complètes de basculeurs pour l'embarquement des charbons, de grues roulantes et flottantes établies en partie par l'État, en partie par de grands industriels de la région.

En ce qui concerne spécialement les produits métallurgiques, le mouvement du port de Ruhrort se décompose comme il suit :

Houille chargée.	2 028 000 *t*
Fers et aciers chargés.	95 000
Minerais de fer déchargés	103 000
Fonte.	40 000

Parmi les affluents du Rhin, il en est un qui traverse le pays du charbon, la Ruhr, et l'autre, le pays des minerais, la Moselle. La première, bien que navigable au moyen d'écluses sur une longueur de 75 *km* entre Witten et Ruhrort, n'intervient que pour une quantité négligeable dans le système de transports de la région ; la navigation, qui n'a reçu en 1886 que 20 000 *t* de marchandises, a

succombé devant la concurrence des chemins de fer, et, en particulier, de la ligne de Berg-Marsch qui suit de près le cours de la rivière. La Moselle, au contraire, qui, possédant une longueur totale de 525 *km*, en compte 321 sur le territoire allemand, est destinée à devenir la grande voie de transport des minerais oolithiques de la Moselle, dont les usines de la Prusse rhénane et de la Westphalie deviennent de plus en plus tributaires. Canalisée de Frouard à Metz, elle présente au delà des obstacles qui arrêtent la navigation pendant une partie de l'été. Un projet, dont la dépense est évaluée à 15 000 000 de marks, permettrait de faire disparaître ces obstacles. Sa mise à exécution est très vivement sollicitée par les producteurs du pays de la Ruhr; mais il a des adversaires décidés dans les maîtres de forges du bassin de la Sarre qui, se trouvant, eux, à bonne portée des riches gisements de la Lorraine et du Luxembourg, craignent de voir leurs concurrents des bords du Rhin bénéficier d'un transport par eau à bas prix; le projet de canalisation de la Moselle a également contre lui les producteurs de minerais de la Lahn et de la Sieg, menacés dans leurs débouchés par l'invasion des minerais oolithiques en Allemagne.

Quelle que soit l'importance des voies navigables, un réseau de chemins de fer bien établi reste l'auxiliaire indispensable de la grande industrie. L'empire allemand tout entier possédait à la fin de 1886 un réseau de 37 966 *km*, dans lequel les deux provinces qui nous occupent particulièrement entrent pour plus de 5 000 *km*. Tandis que pour la surface totale de l'empire on ne compte que 7,02 *km* par 100 km^2, nous voyons ici ce rapport s'élever à 10,38 pour la Westphalie et 11,22 pour la Prusse rhénane. Dans cette dernière province comme, du reste, dans toute la Prusse, l'exploitation par l'État a pris absolument le dessus. C'est ainsi que sur les 2 290 *km* de lignes d'intérêt général qu'elle renferme, 2 238 *km* appartiennent à l'État ou sont exploités par lui, tandis que 52 *km* seulement font l'objet d'entreprises industrielles.

Une discussion sur les avantages respectifs de ces deux modes d'exploitation nous éloignerait de notre sujet. Nous devons cependant signaler que des plaintes nombreuses ont été formulées dans ces derniers temps contre la mauvaise utilisation du matériel et les lenteurs administratives qu'ont à subir les transporteurs. C'est le journal *Stahl und Eisen* qui s'est fait le porte-parole de ces doléances, et, sans y insister davantage, il nous a paru bon de montrer, en terminant cet avant-propos, qu'en Allemagne comme ailleurs on arrive difficilement à concilier tous les intérêts.

CHAPITRE PREMIER

Minerais.

La production totale de minerais de fer a été pour la Prusse, en 1886, de 3 555 493 *t*, se décomposant comme il suit :

Minerais oxydés.

Hématites brunes	1 290 019 *t*
Hématites rouges.	621 376
Minerais oolithiques	256 182
Minerais magnétiques.	18 700
Minerais argileux divers	19 481
TOTAL.	2 205 758 *t*

Minerais carbonatés.

Minerais spathiques	1 022 533 *t*
Minerais des houillères (blackbands).	327 202
TOTAL.	1 349 735 *t*

Comme on le voit, le sol du royaume de Prusse présente, en proportions fort inégales, il est vrai, toutes les variétés de minerais de fer industriellement exploitées. Les hématites brunes et les fers spathiques réunis représentent 2 312 532 *t*, soit près de 70 0/0 de la production totale. Ces minerais se rencontrent généralement associés ; ils ont presque toujours l'avantage d'être manganésifères, et ils formaient la véritable ressource de l'industrie sidérurgique allemande, jusqu'au moment où le développement pris par le procédé Thomas a réduit leur valeur dans une forte proportion.

Le chiffre total indiqué ci-dessus ne comprend pas le contingent fourni par la Saxe, la Bavière, le Wurtemberg et le grand-duché de Bade. De ces quatre pays, les deux premiers seuls présentent une certaine importance, au point de vue de l'exploitation des minerais de fer, et les chiffres qui les concernent ne sont point de nature à modifier nos conclusions.

La Prusse est divisée, au point de vue de la statistique de l'industrie minérale, en cinq grandes régions, qui peuvent être assimilées à celles qui sont formées sur notre territoire par les « inspections générales des mines ». Il existe, toutefois, entre la France

et l'Allemagne une différence essentielle. Tandis que nos inspecteurs généraux des mines résident tous à Paris, où ils forment le conseil général des mines, les fonctionnaires prussiens du même grade, qui portent la désignation déjà ancienne de *Berg-Hauptmann*, sont établis au centre de la province dont la surveillance leur est confiée. Les villes de *Breslau*, *Halle*, *Clausthal*, *Dortmund* et *Bonn* sont le siège de ces importantes administrations, qui portent le nom d'*Oberbergamt*. L'Oberbergamt est à son tour divisé en un certain nombre de *Bergrevier*, ayant chacun à leur tête un agent plus spécialement chargé du contrôle actif. Signalons, dès à présent, que les divisions territoriales relatives au contrôle de l'exploitation des mines ne coïncident pas exactement avec les divisions politiques qui portent le nom de *Regierungsbezirk*. Il en résulte une certaine difficulté dans le travail que nous avons entrepris. Il semblerait préférable, en faisant la description des gîtes minéraux et des industries qu'ils alimentent, de suivre les subdivisions politiques mieux connues du lecteur français; mais comme, d'autre part, les Bergrevier ont été le plus souvent constitués en tenant compte des richesses exploitables du sol, il faut s'en tenir à eux pour ne pas perdre le guide naturel en pareille matière. Nous aurons soin, du reste, de prendre, en cas de besoin, comme points de repère des localités suffisamment connues, pour que le lecteur puisse suivre notre description sur une carte quelconque.

Il est une autre observation générale que nous voudrions placer ici. Tandis qu'en France l'exploitation des minerais, des houillères et des usines à fer est entièrement entre les mains de l'industrie privée, l'État prussien est encore exploitant dans plusieurs provinces. Pour les minerais de fer, son rôle se trouve aujourd'hui assez réduit; mais, en ce qui concerne la houille, nous verrons au chapitre suivant qu'il compte encore pour une assez forte part dans la production. C'est là un fait dont il faut tenir compte dans un tableau d'ensemble comme celui que nous voulons présenter.

Nous revenons maintenant à l'étude des divers gisements, en commençant par ceux de l'oberbergamt de *Bonn*, dont la production est de beaucoup la plus considérable. Celle-ci s'est élevée, en 1886, à 1 911 956 *t*, valant ensemble 13 294 246 marks, soit 8,60 *f* la tonne, et provenant de 324 mines, dont 11 appartenant à l'État. Les districts miniers de cette région font partie des cercles politiques d'*Arnsberg*, *Wiesbaden*, *Coblenz*, *Cologne*, *Trèves* et *Aix-la-Chapelle*. Ils s'étendent sur la rive droite du Rhin, dans sa partie montagneuse, et comprennent les célèbres gisements des pitto-

resques vallées de la *Lahn* et de la *Sieg*, qui ont été le berceau de la métallurgie du fer en Allemagne. Le plus riche de ces territoires est celui de Coblenz, avec une extraction de 850 000 *t*, dont 479 000 de minerais spathiques; vient ensuite celui d'Arnsberg, avec 630 000 *t* où les fers spathiques entrent pour 506 000 *t*. Le cercle de Wiesbaden, avec 340 000 *t*, présente encore une certaine importance; quant aux trois autres, Aix-la-Chapelle, Cologne et Trèves, ils ne jouent qu'un rôle tout à fait secondaire dans la production des minerais.

Bien que situées dans des régions montagneuses qui facilitent au moins dans les premiers temps les travaux à ciel ouvert et en galeries, la plupart de ces exploitations sont aujourd'hui souterraines; le minerai se présentant ordinairement sous forme de filons dont l'épaisseur se tient le plus souvent aux environs de 3 *m*, le fonçage des puits a même dû être assez rapide, et des profondeurs comprises entre 200 et 300 *m* ne sont point rares aujourd'hui; l'exploitation se fait par l'établissement de niveaux successifs, et présente à cet égard une certaine analogie avec celle des couches de houille de puissance moyenne et fortement inclinées.

C'est, avons-nous dit, dans les deux vallées de la Lahn et de la Sieg, toutes deux à peu près perpendiculaires au cours du Rhin, que l'extraction est encore aujourd'hui la plus active. La première traverse le grand-duché de Hesse et l'ancien duché de Nassau pour aboutir au Rhin près de Coblenz. Parmi les principaux centres d'exploitation nous citerons, en prenant la vallée de haut en bas, ceux de *Wetzlar* (248 000 *t*), *Daaden-Kirchen* (389 000 *t*), *Weilburg* (158 000 *t*), *Diez* (43 000 *t*). La vallée de la Sieg, située plus au nord, vient se réunir à la vallée du Rhin un peu en aval de Bonn; les districts les plus productifs sont ceux de *Siegen I* (319 000 *t*), *Siegen II* (118 000 *t*), *Burbach* (101 000 *t*), *Müsen* (113 000 *t*). Les minerais consistent comme dans la région de la Lahn, en fer spathique accompagné d'hématites brunes et aussi d'hématites rouges qui entrent pour 50 000 *t* environ dans les chiffres indiqués ci-dessus.

La composition chimique de ces divers minerais a été souvent indiquée, et nous renverrons ici d'une manière générale aux travaux de M. Jordan lors de l'Exposition universelle de 1867. Nous nous bornons à présenter le résultat moyen des analyses les plus récentes; il en résulte que la teneur en fer du minerai cru est généralement comprise entre 35 et 40 0/0. La gangue, tantôt sili-

ceuse, tantôt calcaire, ne représente généralement que quelques unités; le phosphore n'existe qu'à l'état de traces, tandis que le cuivre et le soufre, sans compromettre l'emploi du minerai, s'y rencontrent en plus forte proportion. Ce qui donne aux fers spathiques des vallées de la Lahn et de la Sieg leur véritable valeur, c'est le manganèse dont la teneur varie de 3 à 10 0/0 dans les analyses que nous avons sous les yeux, et qui permet d'obtenir avec ces minerais des fontes de puddlage de premier choix et des fontes d'addition très utiles pour l'application des procédés Bessemer, Thomas et Martin.

Tandis que les exploitations que nous venons de décrire se trouvent éloignées des bassins houillers, l'Oberbergamt de ***Dortmund***, situé au nord du précédent, a l'avantage de fournir à la fois le minerai et le combustible. Toutefois, la production des minerais qui ne dépasse guère 500 000 *t*, est bien loin de suffire au roulement des grandes usines à fonte qui se sont établies dans cette région. L'extraction locale est surtout active dans le pays d'***Osnabrück*** où se rencontre un gisement puissant de minerais ocreux d'un traitement facile. Un seul puits, celui d'Huggel I y a produit en 1886 près de 135 000 *t*. Toutefois, la plus grosse part dans le chiffre total indiqué ci-dessus revient aux blackbands, exploités dans le terrain houiller et dont l'extraction à la même époque s'élevait à 317 000 *t*. Les districts de ***Dortmund Nord et Est, Dalhausen***, ***Sprockhövel***, tous situés dans le cercle d'***Arnsberg***, sont ceux où les exploitations sont actuellement les plus actives. Quant à la composition de ces minerais après grillage (et c'est toujours à cet état qu'ils sont employés), elle varie de 45 à 50 0/0 en fer métallique. La gangue argileuse comprend en moyenne 10 0/0 de silice, 5 à 6 0/0 d'alumine et 3 à 4 0/0 de chaux; la teneur en phosphore qui est d'environ 0,50 0/0 permet, avec la teneur en fer que nous avons indiquée, d'arriver à 1 0/0 de ce métalloïde dans la fonte. Ce n'est point assez pour une bonne fonte Thomas, à la fabrication de laquelle ces minerais des houillères sont principalement employés, et on complète le dosage par des additions de minerais de la Moselle et de scories phosphoreuses.

La statistique de 1886 attribue aux minerais exploités dans l'Oberbergamt de Dortmund une valeur moyenne de 2 marks 34, soit 2,90 *f* la tonne. Ce sont donc des minerais peu coûteux, ce qui compense l'infériorité qu'ils présentent comme qualité par rapport à ceux de provenance lointaine qui sont employés concurremment avec eux.

L'Oberbergamt de *Clausthal* a produit en 1886 dans 58 exploitations **321 000** *t* de minerai valant **618 000** marks ou **2,40** *f* la tonne. Les anciennes mines de fer du Hartz qui présentaient une certaine importance à l'époque où les forêts de cette région montagneuse permettaient la fabrication de la fonte au bois, ne comptent plus guère aujourd'hui. On exploite par compte à *Ilsede*, dans la province de *Hanovre* (district minier de *Goslar)*, un gisement inutilisable autrefois, et auquel le procédé Thomas est venu donner une importance considérable. Le minerai s'y rencontre en couches puissantes et régulières ; l'extraction a été en 1886 de **225 000** *t*, représentant une valeur de **270 163** marks, ce qui correspond au prix très réduit de **1,50** *f* la tonne. La teneur du minerai varie de 4 à 10 0/0 de silice, 0 à 5 0/0 d'alumine, 6 à 18 0/0 de chaux et magnésie, 1,28 à 10 0/0 d'oxyde de manganèse, 2,60 à 4,60 0/0 d'acide phosphorique. Le rendement en fer oscille entre 30 et 40 0/0. Ces minerais, dont le prix est le plus bas de toute l'Allemagne, sont donc en même temps excellents pour la fabrication de la fonte Thomas, et nous verrons plus loin le parti que des hauts fourneaux construits récemment à proximité de cet important gisement ont su tirer de son exploitation.

L'Oberbergamt de *Halle* ne présente, au point de vue de l'exploitation des minerais de fer, qu'une importance très réduite. L'extraction n'y a été en 1886 que de **38 000** *t*, composées en majeure partie de fers spathiques et aussi d'hématites brunes, exploitées dans le voisinage de la ville d'*Erfurt* et livrées en partie à la Maximilian-Hütte, en Bavière, et à la Kœnigin Marienhütte près de Zwikau, en Saxe.

Nous arrivons à l'Oberbergamt de *Breslau*, capitale de l'industrieuse province de la Haute-Silésie. Les minerais de fer s'y rencontrent en proportion assez considérable pour qu'une puissante industrie métallurgique s'y soit développée. Ils consistent pour la plus grosse part en hématites brunes extraites du Muschelkalk par 60 mines qui ont produit dans la même année 695 000 *t* valant 2 marcks 97 = 3,70 *f*. Le prix de revient est acceptable, comme on le voit, mais la qualité laisse à désirer, car le rendement en fer dépasse rarement 30 à 35 0/0, et la silice se rencontre fréquemment dans la gangue dans la proportion de 10 0/0 ; enfin, ces minerais, tout en étant phosphoreux, ne le sont point assez pour permettre la déphosphoration dans le convertisseur. Le sol de cette province fournit, il est vrai, sur quelques points des minerais magnétiques qui permettent d'améliorer les lits de fusion ; mais, comme nous

aurons l'occasion de l'indiquer en traitant de la fabrication de la fonte, c'est surtout par des importations de minerais hongrois des Karpathes et même de minerais suédois que les hauts fourneaux silésiens arrivent à la production de fontes de qualité.

Nous avons dit, en commençant ce chapitre, que la production totale de la Prusse s'élevait à 3 500 000 *t* environ. C'est à peine la moitié de la production totale de l'empire allemand, indiquée par la statistique officielle de 1886 comme étant de 8 485 758 *t*. Il nous reste donc à voir quels sont les pays de l'empire qui fournissent la différence. La Bavière, le Wurtemberg et le grand-duché de Bade n'y jouent, avons-nous dit, qu'un rôle insignifiant. La seule usine à fer du royaume de Saxe tire, comme on l'a vu, ses minerais de la province d'Erfurt. C'est donc à peu près exclusivement dans la grande formation oolithique de la Lorraine et du Luxembourg que l'Allemagne vient, comme la France et la Belgique, chercher le complément de ses approvisionnements. Elle doit à ses victoires de 1870 de pouvoir considérer comme siens les riches gisements que nous exploitions autrefois autour de Metz ; quant au grand-duché du Luxembourg, c'est en vertu d'une sorte d'annexion industrielle que l'Allemagne s'en attribue la production en minerais de fer, bien qu'elle soit loin de la consommer tout entière. Cette production a été en 1886 de 2 361 000 *t* ; il resterait donc pour l'Alsace-Lorraine une extraction d'environ 2 000 000 de tonnes. Nous savons en effet, d'autre part, que les concessions de minerai de fer dans cette province s'étendent sur 40 000 *ha* ; or, les trois groupes d'exploitation réunis en France au tour de Longwy, Briey et Nancy, représentent une surface concédée de 35 399 *ha* et ont fourni dans l'année qui nous occupe 1 689 000 *t*. L'Alsace-Lorraine doit donc avec ses 40 000 *ha* fournir à ses propres hauts fourneaux et à ceux de la Prusse une quantité de minerais au moins égale, et compléter ainsi le chiffre total indiqué ci-dessus.

Les conditions de formation géologique et d'exploitation du grand gisement oolithique lorrain-luxembourgeois sont connues par les communications récentes faites ici même par M. Rémaury. Nous nous bornerons donc à terminer ce chapitre par un court aperçu sur le mouvement d'importation et d'exportation des minerais.

Il résulte des statistiques les plus récentes que l'Allemagne importe actuellement d'environ 1 200 000 *t* tandis que son exportation dépasse 2 000 000 *t*. La France prend à l'Allemagne (Luxembourg et Alsace-Lorraine) plus de 800 000 *t* et lui en rend de la même formation

environ 150 000 *t*. Il y a là du moins pour une certaine part des échanges faits sur la frontière même et qui ne peuvent être considérés comme de l'importation proprement dite. Il reste cependant établi que la France est, malgré ses grandes exploitations de Nancy et de Longwy, tributaire de l'Allemagne pour les minerais. Le cas est encore bien plus grave pour la Belgique qui a reçu de l'Allemagne plus d'un million de tonnes et lui en a fourni tout au plus 80 000. Celle-ci reçoit par contre des Pays-Bas 400 000 *t* et leur en donne quelques milliers de tonnes seulement.

La Suède et la Grande-Bretagne envoient en Allemagne, la première, 30 000 *t* et, la seconde, 40 000 sans en recevoir des quantités appréciables. Avec l'Autriche-Hongrie, les importations et les exportations se soldent à peu près, mais l'Espagne joue encore aujourd'hui dans l'alimentation des hauts fourneaux allemands un rôle qui surprend au premier abord, eu égard aux ressources nationales que nous venons de faire connaître. Elle fournit annuellement à l'Allemagne près de 500 000 *t* de minerais provenant principalement des mines de Bilbao. La maison Krupp possède, sur ce dernier point, des exploitations importantes, et, à l'exemple de Sociétés françaises et belges bien connues, elle fait ses transports sur ses propres navires qui, en remontant le Rhin jusqu'à Ruhrort, arrivent presque aux portes de l'usine.

Nous croyons avoir dans les lignes précédentes présenté un tableau suffisamment complet de la situation de l'Allemagne par rapport aux minerais. Cette situation est évidemment bien supérieure à celle de la France. Nos gisements des Alpes et des Pyrénées (Allevard, Pamiers, etc.), comparables comme qualité à ceux du Nassau, sont moins abondants, se trouvent souvent plus éloignés des centres de consommation et n'ont surtout pas l'avantage d'être sur les bords d'un grand fleuve qui facilite les échanges de minerai et de combustible. La conquête de l'Algérie nous a, il est vrai, rendus maîtres de richesses minérales qui compensent l'appauvrissement de la métropole, mais ces minerais n'arrivent aux hauts fourneaux qu'ils alimentent que grevés de frais de transports bien onéreux. Reste le gisement lorrain-luxembourgeois dont nous avons heureusement notre part; mais, dans cette contrée, c'est pour le combustible que nous sommes tributaires de l'Allemagne, et le chapitre suivant montrera combien à cet égard elle est encore plus favorisée que nous.

CHAPITRE II

Combustibles.

Dans notre étude de 1884 sur la métallurgie du fer et de l'acier en Autriche-Hongrie, nous avions consacré un chapitre spécial à la fabrication du charbon de bois. Pour l'Allemagne, ce travail serait superflu, car la fonte au bois n'entre dans la production totale que pour une quantité négligeable dans un travail d'ensemble comme celui que nous avons entrepris.

L'Allemagne dispose de deux sortes de combustibles minéraux: la houille et le lignite. On exploite, en outre, dans diverses provinces et principalement en Bavière, de la tourbe en quantité considérable, mais sans qu'elle figure dans les statistiques de l'industrie minérale qui, du reste, ne saurait s'en servir utilement. La production des lignites pour la Prusse seulement a été, en 1886, de 12 565 405 *t*, valant en moyenne 3,15 *f* la tonne. Les exploitations les plus importantes se trouvent dans la province de Brandebourg, qui en a livré à elle seule 2 409 749 *t;* les usines de produits chimiques établies sur le grand gisement salin de Stassfurt trouvent leur avantage dans l'emploi de ce combustible à bas prix, mais l'industrie qui nous occupe n'en fait qu'un usage restreint. Il en est de même dans le royaume de Saxe, où l'exploitation des lignites a pris une certaine importance dans les districts de Dresde et de Chemnitz (733 917 *t*, valant 3,50 *f* la tonne).

L'extraction houillère du royaume de Prusse a été, en 1886, de 52 482 799 *t* (1), se décomposant comme suit :

	TOTAL DE L'EXTRACTION	VALEUR DE LA TONNE
	tonnes.	francs
Bassin de la Ruhr	28 439 217	5,81
— — Haute-Silésie	13 018 001	4,76
— — Sarre	6 002 649	9,25
— — Basse-Silésie	2 978 325	7,40
— d'Aix-la-Chapelle	1 270 255	6,81

(1) Au moment où nous avons commencé notre travail, nous n'avions encore en main que les renseignements statistiques de l'année 1886. Ceux de 1887 ont paru depuis lors et ils indiquent pour tous les produits une augmentation, sans que celle-ci soit cependant assez forte pour modifier nos conclusions. C'est ainsi que, pour l'Allemagne entière,

Comme il sera facile de s'en assurer, les cinq bassins ci-dessus désignés représentent ensemble plus des 95 0/0 de la production prussienne. La différence entre leur tonnage réuni et le tonnage total indiqué ci-dessus se rapporte à des exploitations insignifiantes disséminées dans la région centrale du royaume et dont la nomenclature nous entraînerait trop loin.

Le bassin de la Ruhr a déjà été, à la Société des Ingénieurs civils, l'objet de nombreuses communications, parmi lesquelles nous rappellerons celle de M. Jordan en 1877 et celle de M. Brüll en 1879. M. Gautier, dans son compte rendu de l'exposition de Dusseldorf, a signalé les progrès faits depuis l'année 1874, où l'extraction totale n'étart encore que de 7 500 000 *t*, jusqu'en 1880 où elle atteignait 21 500 000 *t*. Le chiffre indiqué ci-dessus pour 1886 (28 439 217 *t*) montre que le mouvement ne s'est pas ralenti. Les renseignements sur l'exploitation technique que nous avons puisés aux sources les plus récentes concordent encore sensiblement avec ceux fournis par M. Gautier; nous nous bornerons donc à rappeler que la formation houillère, exploitée actuellement sur une surface d'environ 2 000 km^2, forme un quadrilatère dont les sommets nord, sud, est et ouest sont déterminés par les localités de *Recklinghausen*, *Barmen*, *Mœrs* et *Hamm*. La distance entre les deux puits extrêmes dans une direction sensiblement nord-sud est actuellement de 33 *km*, et dans le sens perpendiculaire (puits *Rhein-Preussen* et *Kœnigsborn*) de 71 *km*. Le nombre des couches, toujours divisées en quatre groupes, n'a pas augmenté et est d'environ 70. Leur puissance s'accroît à mesure qu'on s'élève vers la partie supérieure de la formation, et leur richesse en gaz, ainsi que leur pouvoir d'agglomération, augmente en allant de l'ouest à l'est. Les couches, qui sont surtout exploitées pour la fabrication du coke, portent les noms de *Sonnenschein*, *Rottgersbank*, *Catharina*, etc.

Tandis que les 179 mines du bassin de la Ruhr qui concourent à la production que nous avons indiquée sont toutes entre les mains de l'industrie privée, l'État intervient pour une assez forte

la production totale des minerais, qui avait été en 1886 de 8 484 000 *t*, a été en 1887 de 9 351 106 *t*. De même, la production des lignites a passé, d'une année à l'autre, de 15 615 000 *t* à 15 898 000 *t*, et celle de la houille de 58 056 000 *t* à 60 333 000. La valeur des lignites a varié dans les quatre années 1884 à 1887 de 2 marks 63 à 2 marks 66, et celle de la houille de 5 marks 20 à 5 marks 27. L'extraction de la houille en 1884 était de 57 233 000 *t*. Les quantités, comme les prix, sont donc restés à peu près constants depuis quatre ans.

Pour faciliter la comparaison avec les autres pays, nous avons presque toujours traduit en francs la valeur des produits. Nous rappelons que le mark allemand vaut 1,25 *f*, et que, l'Allemagne ayant adopté l'étalon d'or, la valeur du mark, contrairement à ce qui a lieu pour le florin autrichien et le rouble russe, n'est soumise à aucun agio.

part dans la production du bassin de la *Haute-Silésie*. C'est ainsi que la mine de *Kœnigsgrube*, exploitée par l'État, a produit, en 1886, 1 004 925 *t*; celle de *Kœnigin Luisengrube* a contribué pour 1 827 000 *t* au chiffre total de 3 187 101, représentant la part du domaine national. Les autres exploitations appartenant à l'industrie privée, qui sont au nombre de 97, sont groupées dans les districts de *Kattowitz*, *Beuthen*, *Tarnowitz* et *Zabrze*, situés près de la ville autrichienne de Krakovie. La formation houillère, présentant des couches moins nombreuses mais plus puissantes que dans la Ruhr, forme une sorte de coin entre la province autrichienne de Moravie et la Pologne. Elle s'étend de Zabrze à Myslowitz, sur une longueur de 20 *km* avec une largeur moyenne de 8 *km*, représentant une superficie de 160 km^2; mais la surface des couches, dont la puissance totale est de 20 *m*, est bien supérieure par suite des redressements et des plissements.

Comme l'a montré le tableau d'ensemble placé en tête de ce chapitre, c'est dans la Haute-Silésie que le prix de revient de la houille est le moins élevé de toute la Prusse et c'est là en même temps que le rendement par ouvrier est maximum, car il a été, en 1886, de 318 *t*, tandis qu'il n'était que de 288 *t* dans la Ruhr. Viennent ensuite : la Sarre, avec 232 *t*; la Basse-Silésie, avec 216 et le bassin d'Aix-la-Chapelle, avec 192. La situation géographique du bassin de la Haute-Silésie lui facilite singulièrement les exportations par les frontières sud-est de l'Empire allemand. Elles se sont élevées, en 1886, à 272 000 *t* pour la Russie et la Roumanie et à 1 708 817 *t* pour l'Autriche. La consommation intérieure, spécialement affectée à l'industrie sidérurgique, a été de 874 000 *t*, livrées directement aux usines à fer et à acier, et de 1 136 000 *t* transformées en coke. Ce sont surtout les couches exploitées près de Zabrze qui concourent à cette dernière fabrication.

Le bassin de la *Basse-Silésie*, situé vers le nord-ouest du *Riesengebirge*, et dont la ville de *Waldenburg* est le centre, est beaucoup moins important que le précédent. L'industrie du fer et de l'acier n'y a pris qu'un faible essor, bien que les treize couches qui y sont exploitées donnent toutes des houilles collantes, qu'il produise par suite, surtout aux environs de *Gottesberg*, un excellent coke métallurgique, recherché par les usines autrichiennes de la Bohême.

Le bassin houiller de la *Sarre*, le plus rapproché de la frontière française, est le troisième de l'Allemagne, au point de vue de la production. Ses couches sont divisées en trois groupes, dont le

groupe inférieur donne des houilles convenables pour la fabrication du coke. L'exploitation par l'État y a la haute main, car sur 12 mines 9 lui appartiennent. C'est aussi dans le bassin de la Saar que la production moyenne par mine est la plus importante, car elle y atteint 500 221 *t*, tandis que dans la Ruhr elle n'est que de 158 078 *t*, de 130 000 dans la Haute-Silésie et dans la Basse-Silésie de 69 263 *t*.

Nous ne dirons que quelques mots du bassin d'*Aix-la-Chapelle*, composé de deux groupes de couches, donnant abondamment des houilles collantes, surtout dans la région d'*Eschweiler* et dans la partie est du bassin sur la *Wurm*. Nos hauts fourneaux français du nord-est en tirent une partie de leur combustible.

Il nous reste, pour terminer ce chapitre, consacré à l'étude sommaire des combustibles, à passer comme nous l'avons fait pour les minerais, de la production de la Prusse à celle de l'Allemagne entière, c'est-à-dire de 52 millions de tonnes environ à 58 millions. Ce travail est relativement facile, car le royaume de Saxe, avec une production de 4 249 022 *t*, vient combler à peu près à lui seul cette différence ; on attribue à la houille extraite une valeur de 9,10 *f* par tonne, et c'est le bassin houiller de *Zwikau* qui représente de beaucoup la plus grosse part dans le chiffre indiqué ci-dessus.

Fabrication du Coke.

Nous résumons dans le tableau suivant, emprunté pour la plus grande partie à une statistique publiée par la maison Dr Otto et Cie, à Dahlhausen, le nombre de fours, la production totale annuelle et la production journalière par four, enfin la valeur de la tonne de coke produit par les diverses provinces de l'Empire ayant la part la plus importante dans cette fabrication. Ce tableau s'applique également à l'année 1886.

	NOMBRE DE FOURS	PRODUCTION ANNUELLE	PRODUCTION JOURNALIÈRE	VALEUR DE LA TONNE
		tonnes.	kilogr.	francs.
Bassin de la Ruhr	8 317	2 341 618	1 821	9,50
— — Sarre	1 546	778 000	1 250	18,75
— d'Aix-la-Chapelle. . .	357	115 709	1 536	12,50
— de la Haute Silésie. .	1 831	793 564	1 287	10,75
— de la Basse Silésie. .	314	135 736	»	5,75
Royaume de Saxe	371	93 545	942	17,50
Province de Hanovre. . . .	298	562 001	1 925	18,75
		4 310 172		

Comme on le voit, le bassin de la Ruhr représente à lui seul plus de la moitié de la production du coke allemand ; c'est qu'en effet toutes les conditions de succès : abondance et, par suite, bon marché des menus charbons ; faible teneur en cendres et pouvoir considérable d'agglomération s'y trouvent réunis. De plus, c'est là que les méthodes de lavage et de cuisson ont été perfectionnées, à un point tel qu'elles servent aujourd'hui de modèle, non seulement à l'Allemagne, mais à la plupart des exploitations européennes. Nous entrerons donc, à cet égard, dans quelques explications.

La houille tout venant est presque toujours classée en deux catégories : tout ce qui dépasse 75 *mm* donne le charbon gros et moyen *(Stückkohle)* et est livré directement au commerce ; les fragments de 10 à 75 *mm* sont divisés par des trommels classificateurs en quatre catégories de 75 à 42 — 42 à 25 — 25 à 16 — 16 à 10 *mm*, et chaque espèce vient tomber directement du trommel dans une série de quatre cribles à secousses, placés au-dessous de lui ; cet ensemble constitue la laverie des gros menus *(Grobkornwæsche)*. Les refus du trommel précédent, c'est-à-dire les petits menus (de 10 à 4 *mm*) sont, à leur tour, classés et lavés dans quatre *Spitzkasten*, et ce sont eux qui constituent pour la plus grosse part la matière première de la fabrication du coke. On y ajoute les fines sèches de 0 à 4 *mm*, dont la proportion en cendres est, même sans lavage, inférieure à celle des fragments de dimensions supérieures. Enfin, on complète, quand la demande l'exige, par des produits de la Grobkornwæsche, broyés en partie, s'il y a lieu.

Par suite du mélange des poussières sèches avec les menus lavés, le degré d'humidité de la charge peut varier de 5 à 15 0/0, et on a reconnu qu'il ne doit pas dépasser ordinairement ce dernier chiffre ; mais il faut toujours une certaine proportion d'eau, car des houilles très sèches livrent, en général, un coke moins compact que les houilles humides, avec lesquelles la charge se tasse davantage. On peut, d'ailleurs, avec les procédés que nous venons de décrire, réduire la teneur en cendres de la houille à 4 0/0, et celle du coke ne dépasse pas alors 6 0/0 ; c'est là une limite inférieure qui, dans la pratique, n'est atteinte qu'exceptionnellement ; en général, les cokes de la Ruhr ont de 8 à 10 0/0 de cendres, et ce résultat est encore très satisfaisant.

Bien que le bassin de la Ruhr ait été, comme nous l'avons vu, exceptionnellement bien traité sous le rapport des houilles à coke, des variétés maigres et peu collantes représentent encore la grande

masse de l'extraction. On a donc, ici comme partout, cherché à favoriser l'agglomération par des constructions de fours plus ou moins compliquées. Nous ne saurions entrer dans le détail de toutes les tentatives faites pour améliorer la cuisson; nous nous bornerons à indiquer que le four *Appolt*, qui par la verticalité de son grand axe augmente la densité du coke, ne s'est que peu répandu. Parmi les fours dont le grand axe est parallèle au sol, ceux à carneaux horizontaux (système *Coppée*, *Coppée-Otto)*, ont pris le dessus sur les fours à carneaux verticaux *(François*, *Smet*, etc). Plus le charbon cru employé est d'une agglomération difficile, plus les dimensions du four diminuent. On rencontre fréquemment la section de 1,60 × 0,60 pour les fours Coppée dont la charge se fait toutes les quarante-huit heures, et de 1,00 × 0,50, pour ceux où l'opération dure vingt-quatre heures seulement. Les Ingénieurs que cette question spéciale de la fabrication du coke intéressent trouveront d'ailleurs de nombreux détails à ce sujet dans un Mémoire publié dans la « Preussische Zeitschrift für Berghütten- und Salinen-Wesen », sous le titre : *Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund mit Berücksichtigung des fremden Wettbewerbes* (La fabrication du coke dans le district de Dortmund et dans les pays étrangers).

La production totale de coke du bassin de la Ruhr, est, avons-nous vu, d'environ 2 400 000 *t*. Cette production se répartissait, à l'époque dont nous parlons, entre 72 établissements, dont 26 aux environs de Dortmund, 32 près de Bochum, et 14 dans les exploitations voisines d'Essen; 55 mines, représentant un effectif de 4 906 fours, avaient annexé la fabrication du coke à leur propre exploitation. Parmi elles, 4 faisaient plus de 100 000 *t*, 4 de 80 à 100 000, 5 de 60 à 80 000, 15 de 40 à 60 000, 9 de 30 à 40 000, 7 de 20 à 30 000, 5 de 10 à 20 000; enfin 6 produisaient moins de 10 000 *t*.

Une classification analogue quant au nombre des fours donnait les résultats suivants:

Établissements ayant plus de 200 fours	2
— — de 150 à 200 —	4
— — 100 à 150 —	9
— — 80 à 100 —	8
— — 60 à 80 —	14
— — 40 à 60 —	11
— — 30 à 40 —	1
— au-dessous de 30 —	3

Il nous parait utile de compléter ces renseignements par quelques données sur le prix de revient du produit. Il s'établit en moyenne comme il suit :

Salaires et surveillance	*Pf.*	76,3
Matériaux		11,2
Réparations		3,56
Amortissement et intérêt		26,10
Frais généraux et impôts		16,50
Caisse d'épargne et de prévoyance		2,82
TOTAL		136,48

Soit 1,60 *f*, chiffre dans lequel les frais généraux, l'intérêt et l'amortissement du capital ont, comme on le voit, une part importante.

Si l'on compte le prix de la houille à coke employée à 4 marks, avec un rendement moyen de 70 0/0, la valeur de chargement

est de	5,72
à laquelle s'ajoutent les frais de fabrication	1,36
TOTAL	7,08 marks.

A la même époque le prix moyen de vente étant de 8 marks, on voit que la transformation de la houille en coke a doublé sa valeur.

On compte dans le bassin de la Ruhr une dépense moyenne de 2 540 marks pour la construction d'un four isolé, et de 3 600 marks par four pour installation complète avec cheminée, déchargeur mécanique à vapeur, etc. Dans ces conditions, le personnel employé est en moyenne, pour 100 fours à coke, de 1,3 surveillant, et de 40,6 ouvriers.

Plus de 70 0/0 des fours à coke de la Ruhr utilisent leurs flammes perdues pour la production de la vapeur. Avec les fours Coppée qui sont, comme nous l'avons dit, les plus répandus, on obtient par la combustion des gaz une température d'au moins 1 400 degrés à l'entrée sur la grille, et les gaz résultant de la combustion quittent les carneaux de la chaudière chauds encore de 400 degrés. Avec un four de 48 heures chargeant 5 *t*, on compte de 7 1/2 à 8 m^2 de surface de chauffe, et on peut évaporer par heure de 20 à 28 *kg*. On cherche en général à assurer aux produits de la combustion des parcours directs; on peut cependant, avec l'aide de hautes cheminées, employer aussi des chaudières avec des retours de flamme.

Dans le chiffre de production indiqué ci-dessus, l'exportation figure pour 640 000 *t*, dont 280 000 *t* envoyées en France. La Belgique et le Luxembourg sont aussi tributaires de la Ruhr pour un chiffre à peu près égal. La consommation locale se répartit comme il suit : Hauts fourneaux, 70 0/0 ; Aciéries, 5 0/0 ; Fonderies et usines métalliques, 20 0/0.

Nous ne saurions, sans nous attarder outre mesure, entrer pour les autres bassins houillers dans des détails aussi complets que nous venons de le faire pour le bassin de la Ruhr. Le bassin de la Haute-Silésie, qui vient après lui comme importance, se présente dans des conditions assez différentes. Il accuse pour 1886 une consommation de 282 209 *t* de houille en morceaux, 244 929 *t* de houille menue lavée, et de 749 709 *t* de houille menue non lavée. On voit déjà qu'on attache ici une beaucoup moindre importance à la faible teneur en cendres que dans la Prusse Rhénane et la Westphalie. De plus, le rendement est beaucoup moins avantageux, car à la consommation totale indiquée ci-dessus correspond seulement une production de 793 564 *t*, soit un rendement de 62 0/0, et encore dans ce chiffre figurent plus de 100 000 *t* de menu coke et d'escarbilles. Bien que la houille de la Basse-Silésie soit la moins chère de toute l'Allemagne, la faiblesse du rendement motivée par la maigreur relative des charbons employés rend le prix du coke plus élevé que dans la Ruhr. Pour la même raison, les fours Appolt ont trouvé ici plus de partisans. La *Donnesmarkhütte* en emploie 16 batteries renfermant ensemble 288 fours, qui avec une consommation de 10 097 de grosse houille et 108 513 *t* de charbon non lavé ont produit 67 900 *t* de gros coke, 7 905 de coke menu et 3 114 *t* d'escarbilles.

Le plus gros producteur du bassin est la *Königshütte* qui a fait, en 1886, 258 000 *t* de coke. Il est à remarquer que tandis qu'en Westphalie la fabrication du coke est plutôt entre les mains des houillères, en Silésie ce sont les usines qui font la dernière préparation du combustible.

Nous avons dit plus haut que le bassin de la Basse-Silésie se distinguait par l'excellente qualité de ses houilles pour la fabrication du coke. Nous trouvons en effet ici un prix de revient de 5,75 *f* seulement. C'est sans doute de ce côté que les établissements métallurgiques du sud-est de l'Allemagne se seraient portés, si le développement des houillères de la Basse-Silésie n'était pas d'origine très récente. Le bassin de la Sarre se signale au contraire par son prix de revient élevé. La situation d'infériorité si sensible

dans laquelle notre pays se trouve par rapport à l'Allemagne au point de vue de la fabrication du coke, lui permet néanmoins d'exporter en France annuellement environ 60 000 *t*. L'Alsace-Lorraine absorbe également une grosse part de sa production.

Nous terminerons ce chapitre en résumant les tentatives faites en dernier lieu pour perfectionner la fabrication. Ces tentatives peuvent poursuivre trois buts différents : 1° augmentation du rendement pour une houille de qualité donnée ; 2° possibilité de l'emploi des charbons maigres ; 3° condensation des produits de la distillation en vue de leur utilisation industrielle.

L'augmentation du rendement peut être surtout obtenue par un chauffage énergique des fours, permettant d'une part de réduire le temps de la cuisson, d'autre part de faire pénétrer la température nécessaire à l'agglomération jusqu'à la partie centrale de la houille chargée. On recommande à cet effet l'emploi du four breveté construit par l'ingénieur Gustave Hoffmann à *Neu-Lässig* près Gottesberg, en se basant sur une combinaison des régénérateurs Siemens et du four Coppée. L'air chauffé de 700 à 1 000° par des chambres placées sous le massif des fours est mélangé avec un volume de gaz sextuple. Après les essais faits à Gottesberg, 20 fours ont été construits au puits *Pluto*, aux environs de Dortmund, et les résultats ont été assez favorables pour que plus de 400 fours aient été installés en Silésie et en Westphalie.

L'utilisation des houilles maigres a été tentée avec succès par M. Fritz Luermann, ingénieur à Osnabruck, dont nous aurons également à citer le nom à propos de divers perfectionnements dans la construction des hauts fourneaux. Son four, basé sur le principe de la continuité, a été mis en service à *Kohlscheid* près d'Aix-la-Chapelle à la mine *Neulaurweg* de la *Vereinigungsgesellschaft* dans le district de la Wurm. Un mélange de 50 0/0 d'anthracite et de 50 0/0 de houille demi-grasse y a donné 80 0/0 de rendement. A *Kaiserhütte* près *Gersdorf* en Saxe, 13 fours Luermann carbonisent aussi de la houille à longue flamme ; à la *Adelenhütte* de la société Karl Otto à *Urbach am Rhein*, 10 fours marchent aussi avec un mélange formé par moitié de houille du bassin d'Aix-la-Chapelle non collante, et de houille de la Ruhr. Le rendement obtenu est satisfaisant.

Les Allemands reconnaissent à MM. Knab et Carvès le mérite des premiers essais faits pour la condensation des produits volatils résultant de la fabrication du coke, et c'est d'après les installations de cette sorte, fonctionnant à Bességes, que les usines de la Ruhr

se sont établies. On trouvera dans le numéro 7 de l'année 1884 du journal *Stahl und Eisen* la description de fours à condensation établis à *Gelsenkiechen en Westphalie* par l'*Actiengesellschaft für Kohlendistillation*. Cet essai n'a pas réussi. On a depuis lors essayé d'appliquer l'aspiration et la condensation des gaz au four Gustave Hoffmann, décrit plus haut. Cet essai est décrit dans la 7e livraison du *Stahl und Eisen* de 1888, et les résultats obtenus paraissent encourageants.

CHAPITRE III

Fabrication de la Fonte.

La production totale de la fonte en Allemagne a été :

En 1884 de 3 560 580 *t*
— 1885 de 3 647 248 *t*
— 1886 de 3 495 765 *t*
— 1887 de 3 994 108 *t*

C'est donc pour une période de 4 années une augmentation moyenne d'environ 100 000 *t*. Le recul qui s'est produit en 1886 représente le point culminant d'une crise que les syndicats, conclus entre les producteurs, surtout en vue de développer l'exportation, ont beaucoup contribué à conjurer.

Dans ces chiffres la fonte au bois ne figure

En 1884 que pour 40 032 *t*
— 1885 — 40 186 *t*
— 1886 — 32 893 *t*
— 1807 — 29 845 *t*

C'est, comme nous l'avons dit, une industrie qui se meurt, et sur laquelle il n'y a pas à insister ici.

Le nombre des usines productrices de fonte, qui était en 1884 de 133, est tombé à 110 en 1887, malgré l'augmentation de production signalée. De même, le nombre des hauts fourneaux existants s'est réduit de 308 à 271, et celui des mêmes appareils en marche, de 252 à 212. Il en résulte que la production moyenne d'un haut fourneau qui était en 1884 de 14 120 *t*, est de 18 240 *t* aujourd'hui.

Le tableau suivant montre dans les 4 années que nous envisa-

geons, la variation de la production et de la valeur des trois principales variétés de fonte.

ANNÉES	FONTE de moulage	FONTES Bessemer et Thomas	FONTE de puddlage	VALEUR MOYENNE		
				FONTE de moulage	FONTES Bessemer et Thomas	FONTE de puddlage
				francs.	faancs.	francs.
1884.	379 243	1 210 353	1 960 438	66,87	62,30	55,10
1885.	446 717	1 300 679	1 885 793	59,15	55,50	51 »
1886.	399 712	1 494 976	1 590 792	54,40	51,40	46,70
1887.	489 140	1 732 484	1 756 067	57,50	52 »	47 »

On remarquera que la production de la fonte Bessemer et Thomas a augmenté de plus de 500 000 *t*, tandis que celle de la fonte de puddlage a décru de près de 200 000 *t*. Nous voyons là une première preuve de la substitution constante des fers fondus aux fers puddlés. Quant à la valeur, elle s'est abaissée d'une manière à peu près constante, pour toutes les variétés de fontes ; nous constatons toutefois une légère amélioration à partir de 1886; elle est due aux syndicats de producteurs dont nous avons déjà parlé.

Après avoir fait connaître ces résultats généraux, nous devons, comme nous l'avons fait pour les minerais et les combustibles, décomposer ces chiffres pour voir ce qui revient d'une part au royaume de Prusse, de l'autre aux divers pays de l'empire allemand. Nous rappellerons encore une fois que le bureau central de statistique fait entrer dans les résultats généraux la production luxembourgeoise, bien que politiquement le grand-duché n'appartienne pas à l'empire. Nous prendrons pour cette étude plus détaillée les résultats de l'année 1886 qui se trouve au milieu de la période envisagée.

Sur 119 usines à fonte, la Prusse en possédait 89 dont 40 étaient jointes à des établissements poussant plus loin l'élaboration (aciéries ou usines de puddlage). Sur 215 hauts fourneaux en marche, la Prusse en comptait 156 ; enfin sur 4 millions de tonnes de fonte environ, sa production totale s'élevait à 2 563 000 *t*. Sa part dans le nombre des hauts fourneaux était donc de 72 0/0, tandis que son quantum dans la production de la fonte n'était que de 50 0/0 environ seulement. Ce fait s'explique facilement. Les deux pays de grosse production en dehors de la Prusse, sont le Luxembourg et l'Alsace-Lorraine où les hauts fourneaux sont

presque tous de construction récente et par suite de grandes dimensions.

Le Luxembourg, spécialement, a livré, avec 9 établissements comprenant 20 hauts fourneaux en activité, 414 948 *t* de fonte évaluée à 42 *f*. Reste donc environ 517 000 *t* pour l'Alsace-Lorraine et la Saxe; celle-ci ne possède d'ailleurs qu'une seule usine à fonte, la *Kœnigin Marienhütte* près de *Zwickau*, dont la production peut être évaluée à 30 000 *t*. Quant à la Bavière, au Wurtemberg, etc., ils n'entrent pas plus aujourd'hui sérieusement en ligne de compte pour la fonte que pour les minerais.

La production de la Prusse se répartit à son tour d'une manière très inégale sur son territoire. Si nous reprenons le classement par Oberbergamt, le premier rang revient, comme on doit le pressentir, à celui de Dortmund qui, avec 43 hauts fourneaux, arrive à une production de 1 150 000 *t*, soit 26 757 *t* par appareil. Parmi les 17 usines qui concourent à cette production, nous citerons, en partant des bords du Rhin, les usines du *Phénix* et les aciéries du Rhin *(Rheinische Stahlwerke)* à Ruhrort, la *Gute-Hoffnungshütte* à *Oberhausen*, dont la production annuelle peut s'élever à 220 000 *t*, la *Friederich-Wilhelmshütte* à *Mülheim an der Ruhr*, enfin les deux grands établissements de l'*Union* de *Dortmund* et le *Hœrder Bergwerks-Verein*, dont les hauts fourneaux s'élèvent également près de Dortmund. Toutes ces usines produisent toutes les variétés de fontes avec des lits de fusion composés de minerais de la région, de minerais de Siegen et de Nassau, et aussi de minerais d'Espagne importés par les ports de la Belgique et de la Hollande.

On s'étonnera peut-être de ne pas voir figurer dans cette nomenclature les usines de *Krupp* à *Essen*. Celles-ci possèdent en effet 11 hauts fourneaux, produisant 600 *t* par jour, divisés en 3 groupes, dont le premier seulement, la *Johanniskütte*, près de *Duisburg* sur le Rhin, est situé dans la région qui nous occupe. Les deux autres, la *Hermannshütte* et la *Mülhofnerhütte*, sont établis également sur les bords de ce fleuve, mais beaucoup plus en amont, près de *Neuwied*, c'est-à-dire dans la région productrice des riches minerais. Les hauts fourneaux de Krupp consomment néanmoins chaque jour plus de 400 *t* de minerais de Bilbao, amenés de la mine à pied d'œuvre par des navires appartenant aux usines.

Dans la production totale de fonte que nous avons indiquée pour l'Oberbergamt de Dortmund, la fonte pour la fabrication du

fer soudé, autrement dit fonte de puddlage, figure seulement pour 360 000 *t*, et celle destinée à la fabrication du fer fondu pour 687 000 *t*. Nous sommes ici dans le pays où les procédés Bessemer, Martin et Thomas ont pris leur plus grand développement.

Dans l'Oberbergamt de Bonn, la fabrication de la fonte présente une physionomie différente de la précédente. C'est ici que la fonte au bois a trouvé son dernier refuge ; 13 hauts fourneaux en ont produit 21 454 *t* valant 150,50 *f*. C'est un article de luxe qui n'est plus guère employé que pour la fabrication des aciers fins et de la fonte trempée. Du reste, pour arriver à une production de 907 000 *t* de fonte au coke, il faut ici 59 hauts fourneaux. Les appareils sont donc en général plus petits que dans la Ruhr ; ils sont aussi plus disséminés, car ils se répartissent entre 52 usines au lieu de 17. Ce fait se produit du reste toutes les fois que les minerais sont exploités en pays de montagnes où les communications sont difficiles, et où la conformation du sol lui-même s'oppose aux grandes agglomérations industrielles.

Pour les mêmes raisons, les usines de puddlage ont pu se défendre ici contre les aciéries ; la production de la fonte pour fer soudé dépasse donc celle de la fonte pour fer fondu (513 000 contre 327 000 *t*). La valeur moyenne est de 53 marks 50 ; elle est de 55 marks dans l'oberbergamt de Dortmund. Ici, les cokes sont amenés ; là-bas, ce sont les minerais qui ont à subir un transport ; comme on le voit, les deux dépenses s'équilibrent à peu près.

L'oberbergamt de Halle n'a fourni en 1886 que 203 *t* de fonte au bois, et celui de Clausthal ne jouerait aussi qu'un rôle très effacé par rapport à l'industrie sidérurgique, sans le remarquable gisement d'Ilsede dont nous avons parlé au chapitre II. Ces minerais sont traités principalement dans deux hauts fourneaux qui ont produit, en 1887, 113 987 *t*, donnant une production moyenne de 150 *t* par 24 heures et par appareil, avec un prix de revient absolument exceptionnel de 28 *f* par tonne. La production totale de la région n'a été que de 118 364 *t* dont 4 630 *t* de fonte au bois.

L'oberbergamt de Breslau est la région de toute l'Allemagne où l'industrie de la fonte se montre sous les aspects les plus divers. Une partie des usines y est encore exploitée par l'État ; les minerais sur place s'y présentent, par suite de leur teneur en métaux étrangers, avec des difficultés spéciales de traitement, mais en même temps des industries voisines permettent dans une certaine mesure d'y suppléer ; enfin, les cokes y sont d'une qualité bien plus variable que dans la Ruhr ; nous trouvons donc ici dans les résul-

tats d'exploitation des variations qui ne se présentent point dans la Prusse Rhénane et dans la Westphalie.

La production totale de la fonte a été de 412 000 *t* avec 34 hauts fourneaux appartenant à 13 établissements. C'est donc une production annuelle de 13 733 *t* par appareil. Les hauts fourneaux ont ici des dimensions intermédiaires entre ceux de la Westphalie et du pays de Nassau. Parmi les plus importants, on peut citer par ordre de production hebdomadaire ceux de *Gleiwitz* (338 *t*), d'*Antonienhütte* (287 *t*), de *Borsigwerk* (277 *t*), *Kœnigshütte* (266 *t*) et *Hubertushütte* (263 *t*).

La Silésie est restée plus encore que l'oberbergamt de Bonn le pays du puddlage. Sur le chiffre total indiqué ci-dessus, 82,52 0/0 appartiennent à cette variété de fonte, 7,52 0/0 à la fonte Bessemer et Martin, 6,68 à la fonte Thomas et 5,19 à la fonte de moulage. Aussi l'emploi des scories de forge dans les hauts fourneaux y est-il encore fort répandu. Dans le chiffre total de 1 254 000 *t* de matières passées aux gueulards, nous voyons figurer 201 553 *t* de scories ; dans les dosages entrent aussi 28 782 *t* de résidus de pyrites grillées. Ces matières siliceuses, jointes à l'emploi de minerais, plutôt pauvres que riches, obligent à de fortes additions de castine dont la moyenne dans le lit de fusion s'élève à 27,41 0/0, de sorte que la teneur de ce lit de fusion lui-même ne dépasse pas en moyenne 30,32 0/0. Elle est la plus élevée, avec 46.43, au haut fourneau de Gleiwitz exploité par l'État, et la plus basse à la *Redenhütte* avec 28,12 0/0.

Les consommations de coke des hauts fourneaux de Silésie ne sont pas faites non plus pour donner une haute idée des conditions de marche de ces usines. Toujours par suite de la rareté des bons cokes, on avait autrefois l'habitude d'ajouter à ce dernier combustible de la houille crue ; on renonce de plus en plus à cette pratique qui présente de nombreux inconvénients ; sur 728 481 *t* de coke, on ne consommait plus en 1886 que 16 807 *t* de houille crue, et avec celle-ci supposée convertie en coke sur base d'un rendement de 51 0/0, la consommation moyenne de coke de la région était récemment encore de 1 791 *kg* par tonne de fonte ; on la trouve *minima* à Gleiwitz qui peut être considérée comme l'usine modèle du bassin, mais dans plusieurs usines elle dépasse 2 000 *kg*. Il ne faut pas s'étonner si dans ces conditions le prix de la tonne de fonte dépasse ici d'environ 10 marks celui de la moyenne pour l'Allemagne entière; et encore les produits accessoires, plomb argentifère (2 345 *t*), zinc en lingots (1 467 *t*), poussières de zinc

(9 196 *t*), cuivre extrait des pyrites grillées avant leur passage au haut fourneau (476 *t*), réduisent le prix de revient de 2 marks 80 la tonne. Il est vrai que l'emploi de ces matières zincifères est aussi une cause d'augmentation de dépenses au haut fourneau, de sorte que la Haute-Silésie est en somme la province la moins bien traitée de l'Allemagne comme matière première; aussi ses plaintes sont-elles vives. Elle aurait pu lutter en s'adonnant à des fabrications spéciales comme certaines usines de notre bassin de la Loire ont dû le faire, mais elle a laissé la Westphalie et la Prusse Rhénane s'en emparer. Sa principale ressource était l'exportation vers les provinces sud de la Russie et les principautés danubiennes; les mesures prohibitives adoptées par le premier de ces pays a singulièrement réduit ces débouchés.

En résumé, c'est surtout dans la partie ouest de l'Empire que la fabrication de la fonte paraît avoir atteint aujourd'hui son complet développement; c'est aussi là que les appareils de fabrication se sont le plus développés bien que, depuis 1878, il n'y ait pas à cet égard de progrès marquant à constater. On ne rencontre pas ici de ces hauts fourneaux monstres comme ceux que l'Angleterre et l'Amérique ont construits. Une hauteur de 20 *m* répondant à une capacité de 350 à 450 *m* est rarement dépassée. La dernière étape parcourue pour l'amélioration du prix de revient a été la substitution des appareils en briques réfractaires fondés sur la régénération de la chaleur aux anciens appareils en fonte, et l'emploi de la tuyère à laitier, système Luermann, qui évite les arrêts dans la marche du haut fourneau. Les communications faites par M. Remaury, à la fin de l'année dernière, nous dispensent d'entrer dans plus de détails à ce sujet. Nous terminerons ce chapitre par une dernière observation, c'est que nos hauts fournaux du département de Meurthe-et-Moselle n'ont rien à envier sous le rapport de la construction de l'appareil lui-même et de ses accessoires à ceux de la vallée du Rhin; malgré la plus-value du coke qu'ils emploient, leur prix de revient n'est pas sensiblement supérieur à celui des hauts fourneaux allemands les mieux situés. Notre métallurgie française trouve donc en eux une ressource à laquelle on n'a qu'un reproche à faire : c'est d'être trop éloignée du cœur de notre pays.

CHAPITRE IV

Aciéries et Forges.

Le développement que nous avons été conduit à donner à la première partie de ce travail ne nous permet pas de consacrer un chapitre spécial au travail de la fonderie. Nous nous bornerons à dire que l'Allemagne comptait, en 1887, 1 097 fonderies, occupant 48 668 ouvriers ; la consommation de la fonte et des bocages employés s'élevait à 871 415 *t*, correspondant à 766 528 *t* de produits, parmi lesquels la poterie figure pour 59 700 *t*, les tuyaux pour 104 042 *t*, le reste, soit 599 786 *t*, se répartissant sur les objets innombrables que produit l'art du mouleur. Leur valeur moyenne est portée à 192 *f*. Les fonderies se trouvent réparties à peu près sur toute l'étendue du territoire. Le prix de la matière ne joue ici qu'un rôle secondaire, par rapport à celui de la main-d'œuvre ; et comme, de plus, il faut pour cette industrie des ouvriers habiles, c'est surtout dans les villes qu'on rencontre les fonderies, jointes aux grands ateliers de construction, que nous décrirons plus loin. Nous devons, toutefois, une mention spéciale à l'usine ***Gruson***, près de ***Magdebourg***, qui s'est acquis en Allemagne une grande renommée par la fabrication de ses pièces en fonte trempée. On se souvient de la lutte soutenue par elle contre nos usines françaises, dans un concours de coupoles cuirassées qui a eu lieu récemment à Bucarest.

Comme fonderie annexée à des hauts fourneaux et s'occupant spécialement des tuyaux et du matériel des usines, nous citerons la ***Georg-Marienhütte***, près d'***Osnabrück***, et la ***Friedrich-Wilhelmshütte***, à ***Mülheim an der Ruhr***, déjà citée par M. Gautier, dans son mémoire sur l'exposition de Dusseldorf. Nous rappellerons aussi la fonderie de ***Gleiwitz***, dans la Haute-Silésie, dont le personnel technique s'est signalé à diverses reprises par des communications intéressantes sur les propriétés et l'élaboration des fontes de moulage.

Nous passons maintenant à l'étude des établissements qui pratiquent l'affinage de la fonte. La statistique allemande les divise d'une manière très claire en ***Schweisseisenwerke***, usines où l'on fabrique le fer soudé, autrement dit forges de puddlage et de réemploi de la ferraille par voie de paquetage, et ***Flusseisenwerke*** (usines

à fer fondu), c'est-à-dire celles qui produisent le fer et aussi l'acier par voie de fusion. Cette classification, excellente en principe et supérieure à toutes les autres pour différencier les grands modes actuels de fabrication du fer et de l'acier, est forcément insuffisante, car la plupart du temps les grandes usines sont à la fois Schweisseisenwerk et Flusseisenwerk, en ce sens qu'elles ont à la fois un atelier de puddlage, un atelier Bessemer, Martin et même Thomas. De plus, elle n'indique pas quelles sont, parmi ces usines, celles qui ont, non seulement les appareils de fusion, tels que convertisseurs, fours Siemens ou fours à creusets, mais encore les appareils d'élaboration mécanique, comme les marteaux, les laminoirs, etc. Le plus souvent, là où se rencontrent les convertisseurs et les fours Siemens qui supposent une forte production, la forge existe en même temps ; il y a cependant, en Wesphalie, un certain nombre de fonderies d'acier au creuset qui, ne coulant que de petits objets, n'ont à côté des fours que de simples ateliers d'ajustage. Nous suivrons dans notre description l'ordre adopté par la statistique générale de l'Empire, en complétant de cas en cas ses indications.

Il existait, en 1887, 286 usines à fer soudé, occupant 52 768 ouvriers, ayant produit 1 549 186 *t* de produits finis, plus 75 792 *t* de demi-produits (millbars) livrés au commerce, soit, au total, 1 624 978 *t*.

Dans la même année, le nombre des usines à fer fondu était de 94, occupant 36 740 ouvriers. La production de ces établissements avait été de 1 163 884 *t* de produits finis et 574 520 *t* de demi-produits, vendus directement sous forme de lingots de blooms et de billettes, soit, au total, 1 738 404 *t*.

Ces chiffres suggèrent une première observation : c'est qu'avec un nombre d'usines et d'ouvriers moindres, la production des usines à fer fondu est sensiblement supérieure à celle des usines à fer soudé. Il n'y a là rien qui doive nous surprendre. On sait que dans les ateliers Bessemer et Thomas le brassage du bain métallique par le vent forcé est substitué au brassage par le crochet du puddleur. Les nouveaux procédés de fabrication du fer fondu ont donc permis d'arriver à d'énormes productions, avec un nombre d'ouvriers très réduit.

La valeur moyenne des demi-produits en fer soudé a été 84 *f*, et celle des produits finis de 146 *f*; les mêmes chiffres, pour le fer fondu, sont de 95 et de 174 *f*.

Ces résultats exigent également quelques explications.

La différence entre la valeur des demi-produits en fer fondu et en fer soudé n'étant que de 11 *f*, on pourra s'étonner de voir celle des produits finis s'élever à 28 *f*; s'il ne s'agissait que de produits laminés, la différence s'expliquerait d'autant moins que les frais de laminage (combustible et main-d'œuvre) ne sont pas plus élevés dans un cas que dans l'autre, et que même le déchet est moindre pour le fer fondu que pour le fer soudé; mais les produits en fer fondu comprennent tous les articles en acier moulé, dont la préparation exige, comme on sait, de très grands soins et dont le prix de revient est, par suite, double ou triple des produits laminés, quels qu'ils soient.

Nous n'entrerons pas dans l'étude détaillée de la fabrication du fer soudé ; le puddlage se pratique en Allemagne comme partout ailleurs ; les appareils mécaniques perfectionnés n'y sont qu'à l'état d'exception. Du reste, dans ce genre de produits, les vieilles matières jouent un rôle au moins aussi important que le fer puddlé. C'est ainsi que dans la Haute-Silésie, avec 263 000 *t* de fonte traitée au puddlage, on a employé 309 000 *t* de ferraille ; dans la même région, la consommation de houille dans les fours à puddler a été de 320 000 *t*, et de 189 000 *t* pour la production de la vapeur, ce qui donne le chiffre très élevé de 2 434 *kg* par tonne de fer brut obtenu.

Le roulement des ateliers Bessemer ne donnera également lieu qu'à de courtes observations. C'est dans la Prusse Rhénane et dans la Westphalie que ces établissements se sont presque exclusivement concentrés ; dans un premier voyage fait en Allemagne, en 1868, nous avons déjà eu l'occasion de voir en marche ceux de *Pœngsen* à Düsseldorf, de *Krupp*, de *Bochum* et de *Hœrde*. A la même époque, des convertisseurs étaient installés à la *Kœnigin-Marienhütte*, à Zwikau et à *Kœnigshütte*, en Silésie. Leur capacité dépassait rarement 5 *t*, et ils étaient presque tous alimentés par des fontes anglaises du Cumberland. Depuis la guerre, et surtout depuis que l'invention du procédé Thomas a permis d'utiliser les minerais phosphoreux, bien des ateliers à grosse production sont venus se joindre aux anciens ; nous citerons parmi ces derniers les ateliers du *Phénix* et des *Aciéries du Rhin*, à Ruhrort ; ceux de l'usine de *Rothe Erde*, près d'Aix-la-Chapelle, de la *Kœnigin-Marienhütte*, à Osnabruck ; enfin, la puissante installation de *Peine*, qui utilise les fontes d'Ilsede, dont nous avons parlé précédemment. Toutes ces usines ont des cornues de 10 à 12 *t*, dont le nombre varie de 3 à 6, et qui permettent d'arriver à des

productions annuelles de 60, 80 et même 100 000 *t*. Il faut joindre à cette nomenclature la Friedenshütte, près de Morgenroth, en Silésie, qui s'est rendue fâcheusement célèbre l'année dernière par l'explosion simultanée des 22 chaudières de ses hauts fourneaux.

La plupart des aciéries, que nous venons de citer en dernier lieu, utilisent concurremment le procédé Thomas, également appelé aujourd'hui basique, traitant des fontes blanches phosphoreuses et manganésifères, et l'ancien procédé Bessemer ou acide, qui réclame des fontes siliceuses également manganésifères, mais exemptes de phosphore. Par suite des études faites dès l'année 1879 à l'usine de Hœrde et dont les résultats ont été, à diverses reprises, communiqués à la Société des ingénieurs civils, le procédé Thomas s'est propagé en Allemagne avec une grande rapidité. Le chiffre du métal produit s'est élevé à 1 276 070 *t* en 1888, tandis qu'il n'a été en Angleterre que de 408 594 *t* et de 222 333 *t* en France. C'est là un fait important à constater.

Pas plus que pour le puddlage, nous n'entrerons ici dans l'étude technique de la déphosphoration au convertisseur. Les ingénieurs que cette question spéciale intéresse, trouveront un exposé complet de l'état actuel de la question dans un Mémoire publié par nous, en 1888, dans la *Revue universelle des mines et de la métallurgie* de Liège, et dont M. Polonceau a bien voulu rendre compte à la Société. Le garnissage de la cornue, au moyen d'un pisé formé de dolomie et de goudron, a donné aux appareils une durée qui ne le cède guère à celle des convertisseurs garnis en matières siliceuses, et, cette difficulté une fois vaincue, le procédé a pu entrer dans la pratique d'une manière définitive.

Les fours Siemens-Martin sont l'annexe indispensable des grandes aciéries, et, parmi les établissements que nous venons de citer, il en est peu qui n'en possèdent un certain nombre. Les dimensions de ces utiles appareils ont été également en croissant, et la capacité de 12 *t* est celle qu'on rencontre le plus ordinairement parmi les fours récemment construits. On substitue de plus en plus la sole basique, ou mieux encore la sole neutre, à la sole acide ; les frais d'entretien de la première ne sont pas sensiblement plus coûteux, et elle donne des garanties supérieures au point de vue de l'élimination du phosphore et du silicium qui peuvent encore se rencontrer dans les fontes et les ferrailles soumises au traitement.

Le bassin de la Ruhr est le pays classique de la fabrication des

moulages en acier. On sait comment les deux grandes usines d'*Essen* et de *Bochum* se disputent l'honneur d'avoir fait les premiers pas dans cette voie ; elles ont été suivies par de nombreux établissements, situés un peu au sud des précédentes. *Witten*, *Hagen*, *Elberfeld*, *Remscheid* sont des centres bien connus de fabrication d'acier fondu au creuset. L'habileté toute spéciale que cette industrie demande aux ouvriers qu'elle emploie, fait qu'elle s'écarte peu de son berceau. Nous ne croyons pas être démenti en disant que la fabrication de l'acier au creuset ne s'est guère propagée en France en dehors du bassin de la Loire. Le bassin de la Ruhr a joué le même rôle pour l'Allemagne. Il est du reste difficile d'y faire la part qui, dans les moulages en acier, revient au creuset véritable, ou au four Siemens-Martin, qui peut être considéré comme une extension de ce dernier.

Nous ne pouvons entrer ici dans une description détaillée des appareils mécaniques employés pour l'élaboration des fers soudés et fondus. Leur puissance a augmenté avec celle des pièces à fabriquer, et en même temps des progrès considérables ont été faits dans l'économie du combustible. Je me souviens d'avoir eu, vers l'année 1875, une discussion avec un des principaux constructeurs du bassin de la Ruhr, au sujet d'une machine motrice de laminoirs, pour laquelle je réclamais l'application de la détente variable automatique et de la condensation. On me soutenait alors que des machines de forges étaient des appareils trop grossiers pour admettre des complications semblables. Depuis lors, l'emploi des machines Compound s'est généralisé et la condensation fonctionne partout où la présence de l'eau le permet.

De nombreuses discussions se sont également produites sur les avantages réciproques des trains trios ou des trains réversibles pour le laminage des lourdes pièces. On s'accorde à reconnaître que là où l'objet à laminer est d'un poids exceptionnel, comme les plaques de blindages ou les longs fers profilés à haute tige et larges ailes, le train réversible s'impose ; pour des barres longues, mais d'un profil plus réduit, les rails, par exemple, la réponse est moins indiquée. En Westphalie, on a pendant longtemps donné la préférence au trio ; le train réversible semble l'emporter aujourd'hui.

Après ces quelques considérations générales, nous examinerons rapidement le tonnage produit pour les principaux articles, en faisant la part du fer soudé et du fer fondu. C'est la distinction qu'il importe actuellement d'établir, si l'on veut se rendre compte de

la situation générale métallurgique d'un pays. Nos chiffres s'appliquent à l'année 1887.

Rails et petit matériel d'assemblage. — Fer soudé, 9 812 *t*; fer fondu, 456 219 *t*. Ainsi, substitution à peu près complète du fer fondu au fer soudé. Faut-il dire ici acier fondu au lieu de fer fondu ? La réponse doit varier suivant les exigences des diverses administrations : le métal fondu des rails prend ou ne prend pas la trempe ; il est à la limite entre l'acier et le fer. L'organe des progrès techniques des chemins de fer (Organ für die *Fortschritte des Eisenbahnwesens)* publie en ce moment une série d'articles très complets sur le matériel de superstructure des chemins de fer allemands. Les ingénieurs que cette question spéciale intéresse, y trouveront tous les renseignements désirables.

Parmi les gros producteurs de rails, nous citerons : les usines de d'*Essen* et de *Bochum,* dont le nom reparaît si souvent dans les adjudications internationales ; celles du *Phénix* à Ruhrort; de l'*Union de Dortmund*, ainsi que les établissements de *Hœrde ;* sur les frontières extrêmes de l'Empire ; les usines d'*Hayange*, appartenant à MM. de Wendel, et l'usine de *Kœnigshütte* en Silésie, prennent aussi une part active à cette fabrication.

Traverses et longrines métalliques et petit matériel d'assemblage résultant de leur emploi. — Fer soudé, 27 030 *t* ; fer fondu, 74 171 *t*. C'est bien ici de fer fondu aussi malléable que possible et en particulier de fer fondu Thomas qu'il s'agit. Le tonnage total produit en traverses et longrines métalliques, y compris leurs accessoires d'attache, a été, de 1884 à 1887, c'est-à-dire dans l'espace de quatre ans, de 110 508 pour le fer soudé et de 294 322 pour le fer fondu, soit au total 404 830 *t*. L'Allemagne s'est-elle trop hâtée en employant autant de métal sous ses rails ? Nos Compagnies françaises semblent le croire, car elles ont suivi une voie différente. On ne saurait nier qu'en tout cas la métallurgie allemande y a trouvé un puissant secours dans la crise qu'elle a traversée.

Les usines qui font le rail font aussi la traverse métallique ; parmi celles qui s'y sont le plus adonnées, nous devons citer la Société de *Hœrde*, qui a la première laminé le type Post à profil variable, et a, si nous ne nous trompons, fait breveter une traverse d'un type spécial à l'usine.

Essieux, roues et bandages. — Fer soudé, 7 512 *t* ; fer fondu, 65 383 *t*. On constate également ici une grande prédominance du

fer fondu. Depuis bien des années, le bandage et l'essieu en fer puddlé n'existent pour ainsi dire plus en Allemagne. On prend de préférence l'acier au creuset pour les bandages et essieux de locomotive et de tenders, et l'acier Martin-Siemens pour le matériel des voitures et wagons.

Parmi les usines qui s'adonnent spécialement à cette fabrication, nous trouvons toujours *Krupp* et *Bochum ;* on connait le type de roues pleines en acier fondu au creuset de ce dernier établissement. Les grandes usines de la Ruhr, dont le nom est revenu déjà plusieurs fois sous notre plume, ont presque toutes des laminoirs à bandages. L'appareil rentre presque partout dans le type désigné sous le nom de *Kopfwalzwerk*, c'est-à-dire que le bandage est laminé horizontalement dans une cannelure unique, dont la section est rendue variable par des pressions hydrauliques.

Barres marchandes et profilées. — Fer soudé, 1 015 089 *t* ; fer fondu, 111 859 *t*. Ici, le fer puddlé et le fer de ferraille reprennent la prédominance, et cela s'explique facilement. Nous avons vu qu'il existe aujourd'hui encore une différence de prix assez notable entre les millbars et les lingots en faveur des premiers, et pour les produits marchands ordinaires la question de prix domine toute autre considération. D'autre part, le fer puddlé peut être soudé par un ouvrier quelconque, tandis que la soudure du fer fondu exige certaines précautions qui, lorsque cette opération doit être faite, en restreignent l'emploi. Nous croyons, toutefois, que la différence ira sans cesse en diminuant. Déjà une aciérie Thomas importante, que nous avons omise dans notre précédente nomenclature, celle des *frères Stumm*, à *Neunkirchen*, près de Saarbrück, fait de grands efforts pour répandre l'emploi des poutrelles de construction en fer fondu, d'après des profils-types adoptés par l'Association des ingénieurs allemands, et il est probable que cet exemple sera suivi.

Tôles. — Fer soudé, 246 932 *t* ; fer fondu, 88 891 *t*. Ici encore, le fer soudé l'emporte ; mais les progrès du fer fondu sont sensibles, tandis que le fer soudé reste stationnaire, comme le montre le tableau suivant :

ANNÉES	TOLES	
	EN FER SOUDÉ	EN FER FONDU
	tonnes	tonnes
1884	252 279	24 165
1885	246 037	40 766
1886	231 319	69 915
1887	246 932	88 791

Le métal Thomas se comporte, en effet, d'une manière absolument satisfaisante pour la fabrication des tôles ordinaires, grosses ou minces, et des fers-blancs. Quant aux tôles devant répondre à des conditions spéciales de résistance et d'allongement, le métal fondu sur sole basique devra être employé de préférence. Dans tous les cas, l'avenir nous paraît appartenir, d'une manière incontestable, aux *tôles homogènes*, au détriment des *tôles misées*, dans lesquelles une soudure parfaite sera toujours difficile à réaliser.

Toutes les grandes usines que nous avons citées précédemment laminent la tôle; parmi les spécialistes dans ce genre de fabrication, nous pouvons citer : l'*Actiengesellschaft für Eisenindustrie zu Styrum*, à *Oberhausen;* la *Gewerkschaft Schulz-Knaudt*, à *Essen*, et enfin la maison *Piedbœuf*, *Dawant et Cie*, à *Dusseldorf*. L'aciérie basique de *Peine* a aussi monté un grand laminoir à tôles, où l'on se flatte de réussir la fabrication des tôles de chaudières, au moyen de l'acier Thomas.

Machine de tréfilerie. — Ce produit, qui comprend, comme on sait, tous les petits fers ronds de diamètre inférieur à 5 *mm*, vendus en bottes circulaires pour la fabrication du fil et de ses dérivés, ménage une surprise à celui qui étudie le roulement des forges allemandes. On s'étonne qu'un article, représentant un aussi faible poids au mètre courant, puisse arriver au tonnage que nous indiquons dans le tableau suivant :

ANNÉES	MACHINE		TOTAL EN TONNES
	EN FER SOUDÉ	EN FER FONDU	
	tonnes.	*tonnes.*	*tonnes.*
1884	222 903	186 202	409 105
1885	220 811	174 313	395 184
1886	188 172	221 838	410 010
1887	185 032	259 591	444 623

Comme on le voit, la part du fer soudé va toujours en diminuant et celle du fer fondu en augmentant. Le métal Thomas est la matière première par excellence pour la fabrication de la machine. Aussi, les trains de laminoirs qui la fabriquent se sont-ils multipliés dans la région comprise entre Dusseldorf et Dortmund. La force de la machine motrice atteint jusqu'à 600 chevaux, de manière à passer en une seule chaude d'un petit lingot de 10 *c* de côté, pesant environ 50 *kg*, à la boîte enroulée sur le dévidoir.

Parmi les produits en fer soudé, la statistique accorde une place spéciale aux *tubes soudés* par laminage à chaud, qui entrent dans la production totale pour 17 486 *t*. On voit figurer, par contre, dans les produits en fer fondu, 11 682 *t* de *canons et projectiles*.

Enfin, le total des produits en fer soudé comprend 37 383 pièces diverses, telles que : *tiges de piston*, *bielles*, *manivelles* et *autres organes de machine*, pour lesquels l'ancien métal est encore préféré. Le fer fondu figure, à son tour, pour 82 372 *t*, parmi lesquelles sont les *moulages en acier*. Nous relevons dans leur longue nomenclature les *hélices de navire*. L'usine de Bochum en livre pesant jusqu'à 9 000 *kg*, et cet article figure maintenant en vedette dans les albums de la plupart des fonderies d'acier de la même région.

Nous terminerons ce chapitre en donnant quelques indications toutes récentes sur le mouvement d'importation et d'exportation des forges allemandes. Les chiffres s'appliquent aux dix premiers mois de l'année 1888 ; il sera facile pour obtenir d'une manière approximative les chiffres de l'année entière de multiplier par $\frac{12}{10}$ ceux que nous allons indiquer.

Le gros chiffre d'exportation porte sur la machine et ses dérivés ; l'exportation s'élève à 161 954 *t* et l'importation à 3 000 *t* seulement ; l'exportation, dans les dix premiers mois de 1887, avait été encore plus considérable et s'était élevée à 206 285 *t* ; les pays qui empruntent à l'Allemagne l'excédent de sa production sont : la Grande-Bretagne (30 472 *t*) ; la Belgique (11 488) ; les Pays-Bas (16 435) ; les Etats-Unis (33 014) ; la République Argentine, le Paraguay et l'Uruguay (16 387) ; l'Australie (18 552). Cet article est surtout employé, dans ces derniers pays, à l'établissement de clôtures dans les vastes terrains consacrés à l'élevage. La France, qui était encore, il y a quelques années, tributaire de l'Allemagne pour une assez forte part, ne lui prend prend plus annuellement qu'environ 2 000 *t*, par suite des progrès qu'ont faits dans cette

fabrication les usines de Meurthe-et-Moselle, des Ardennes et de la Champagne.

Après la machine, le second rang revient aux fers marchands, dont l'exportation totale a été, dans la période qui nous occupe, de **132 897** *t*, contre une importation de **14 800** *t*. La Russie, la Suisse, les Pays-Bas et l'Amérique figurent ici parmi les principaux clients de l'Allemagne, qui reçoit au contraire, principalement de la Norwège et de la Suède, la quantité indiquée ci-dessus.

L'Allemagne a exporté, dans les dix premiers mois de **1888**, 98 684 *t* de rails. Les Pays-Bas, la Suisse, comme pays voisins, le Portugal et les Indes, comme marchés plus lointains, y jouent le rôle le plus important.

La situation de l'Allemagne par rapport aux divers pays s'établit comme il suit pendant les dix mois indiqués.

	IMPORTATIONS	EXPORTATIONS
	tonnes.	tonnes.
Belgique	3 094	64 439
Danemark	53	14 825
France	4 131	14 842
Grande-Bretagne	10 937	62 060
Italie	25	45 570
Pays-Bas	1 497	78 319
Norwège et Suède	10 689	6 383
Autriche-Hongrie	2 582	18 025
Russie	20	34 573
Suisse	876	56 859
Espagne	22	4 774
États-Unis	167	67 275
Pays non dénommés	14	153 515

En résumé, l'exportation de l'Allemagne en **1888** s'élèvera à environ **900 000** *t* de fers soudés et fondus, contre une importation de 50 000 *t* environ. Nous avons la satisfaction de voir que la France sait mieux que l'Angleterre défendre sa frontière contre l'importation germanique. Elle reste malheureusement bien en arrière de l'Allemagne en ce qui concerne ses débouchés à l'étranger.

CHAPITRE V

Ateliers de construction.

L'infériorité de la France par rapport à l'Allemagne dans le domaine de la métallurgie proprement dite disparaît en grande partie si, en s'élevant d'un échelon, on examine la situation des deux pays au point de vue des constructions métalliques. Plus nous nous éloignons de la matière première, plus notre génie national reprend ses droits. Sans parler des palais en fer destinés à abriter l'Exposition qui va s'ouvrir, la France a, jusqu'à présent, dignement tenu sa place dans les grands travaux terrestres et maritimes que provoque le développement du nouveau et de l'ancien monde ; mais l'Allemagne, elle aussi, travaille énergiquement dans ce sens, et il est bon d'indiquer ici sur quels points ses efforts ont été le plus particulièrement couronnés de succès.

Nous diviserons les établissements que nous allons énumérer d'une manière sommaire, en trois groupes : 1° ceux qui s'occupent surtout de la construction des ***machines;*** 2° ceux qui s'adonnent principalement aux ***ponts et charpentes métalliques;*** 3° ceux qui ont pour but les ***constructions navales.***

Parmi les machines, la locomotive, aussi bien sous le rapport du tonnage qu'elle représente qu'eu égard aux difficultés de sa construction, a occupé jusqu'à présent le premier rang. Les ateliers allemands les plus anciens et les plus renommés pour la construction des locomotives sont ceux de ***Borsig***, à Berlin, avec leur succursale à ***Borsigwerk***, en Silésie; ceux de ***Henschel und Sohn***, à ***Cassel***; ceux de ***Linden***, en ***Hanovre***. La Westphalie et la Prusse rhénane, qu'on trouve représentées dans toutes les industries, mettent en ligne l'usine de ***Krupp***, à ***Essen***, et les ateliers ***Hohenzollern***, à ***Dusseldorf***. Le Wurtemberg possède également à ***Canstatt*** d'importants ateliers de construction de locomotives. Il faut enfin citer les ateliers de ***Krauss***, à ***Munich***, qui se sont fait une spécialité des petites locomotives à voie étroite et en ont, pendant quelques années couvert l'Europe entière.

La construction des machines de mines et d'usines s'est naturellement concentrée dans la région qui en consomme le plus grand nombre ; nous n'avons pas besoin de la nommer. Une des maisons les plus réputées à cet égard est la *Mærkische Maschinen-*

bauanstalt, à *Wetter an der Ruhr*, en Westphalie. Elle se charge de la livraison et du montage de laminoirs entiers, avec leur machine motrice, leurs cages et leurs cylindres; elle fait de même pour les aciéries, et elle a installé de toutes pièces l'atelier Thomas de Peine avec ses six cornues. Les souffleries et les grands marteaux à vapeur rentrent également dans sa spécialité, et elle en a livré un grand nombre en Autriche et en Russie. Nous citerons dans le même ordre de faits la *Gewerkschaft Schalker Eisenhütte*, à Schalke, et la *Maschinenbau-Actiengesellschaft*, *vormals GebrüderKlein*, à Dahlbruch, également en Westphalie. *La Maschinenbau-Anstalt A. Humbolt*, à *Kalk*, près de Cologne, joint aux spécialités précédentes les appareils de lavage et de préparation mécanique de la houille et des minerais.

La fabrication des machines-outils représente un groupe très important de l'industrie mécanique. Certaines maisons s'en sont fait également une spécialité, et la ville de *Dusseldorf* en est un des centres les plus marquants. Nous signalerons en particulier la maison *Ernst Schiess*, qui livre à un grand nombre de sociétés allemandes et autrichiennes leurs grands tours à cylindres et les appareils du même genre. On cite également la *Maschinenfabrik Deutschland*, à *Dortmund*, et les importants ateliers de la *Chemnitzer Werkzeugmaschinenfabrik*, à *Chemnitz* en Saxe. Cet établissement, rien qu'avec des machines, la plupart de petites dimensions, atteint un tonnage annuel de 4 000 *t*, représentant une valeur de 3 000 000 de marks. La ville de *Chemnitz* peut, d'ailleurs, être considérée comme formant avec *Dusseldorf* et *Magdebourg* les trois sommets d'un triangle, autour desquels semble se concentrer l'industrie qui nous occupe.

Si nous voulions entrer plus avant dans les spécialités, nous aurions à citer aussi quelques noms parmi les constructeurs de chaudières inexplosibles de toute sorte, de moteurs à gaz, d'injecteurs et de pulsomètres, de chemins de fer aériens, d'appareils de levage, enfin d'installations électriques qui commencent également à se multiplier. Cette nomenclature serait peu à sa place ici et nous passons au second des trois groupes que nous avons définis.

L'Allemagne y est bien moins représentée que dans le premier. Parmi les établissements qui s'occupent de la construction des grands ponts métalliques, le premier à mentionner pour son ancienneté et l'importance des travaux exécutés est la Société anonyme de *Harkort*, à *Duisbourg*, sur le Rhin. Cette Société qui peut être mise en ligne avec nos grandes maisons parisiennes connues de tous,

se livre également à la construction du matériel roulant de chemins de fer, locomotives exceptées. Elle possède des laminoirs qui lui permettent de produire elle-même les divers profils nécessaires pour ces constructions.

Plusieurs des grandes usines de la Ruhr ont également joint à leurs aciéries et à leurs laminoirs des ateliers de construction. Nous indiquerons comme exemple la *Gutehoffnungshütte*, à *Oberhausen*. Parmi les ouvrages sortis de ses ateliers, on cite divers ponts sur le Rhin, la Vistule, le Weser, l'Elbe et la Moselle, la grande halle de la gare d'Anhalt, à Berlin, longue de 168 *m* avec 62,50 *m* de portée, les trois halles de la gare de Francfort-sur-le-Mein ayant chacune une portée de 56 *m* et une longueur de 187 *m*, enfin, de grands docks flottants pour les arsenaux impériaux de Dantzig et de Wilhelmshaven.

Malgré l'activité maritime et coloniale qu'elle déploie en ce moment, l'Allemagne ne possède qu'une étendue de côtes relativement limitée. De plus, la presqu'île du Danemark vient interrompre son littoral par un obstacle qu'on travaille du reste en ce moment à écarter par le percement d'un large canal de dimensions à peu près semblables à celles du canal de Suez, et qui établira une communication directe entre les deux arsenaux de *Kiel* et de *Wilhelmshaven*.

La description de ces deux arsenaux nous écarterait de notre sujet, et pourtant, aujourd'hui que le fer et l'acier forment l'essence même des constructions navales, un arsenal constitue un établissement métallurgique des plus intéressants. Celui de Kiel, commencé en 1868, a vu ses bassins ouverts en 1878 ; il occupe une surface de 61 hectares et les bâtiments couverts représentent 72 000 *mq*, chiffre qui s'élèvera à 80 000 *mq* après l'achèvement complet des travaux. Les deux grands bassins désignés sous les noms de bassin d'armement et de bassin de construction ont une profondeur de 10 *m*. Ils sont munis de quatre formes de radoub, d'un dock flottant et de trois grandes calles de construction. Le bassin de construction est armé d'une grue fixe de 60 *t* avec 10 *m* de volée, et d'une grue flottante de 40 *t*. On y remarque également une chaudronnerie consistant en un vaste bâtiment large de 35 *m* et long de 60 *m*. Elle renferme comme appareils méritant d'être mentionnés deux grues de 15 *t*, une riveuse hydraulique de 70 *t*, une machine à emboutir de 33 *t*. Tous les appareils y sont construits pour pouvoir élaborer des tôles atteignant jusqu'à 3,80 *m* de largeur.

Les plus forts navires sortis jusqu'à présent de l'arsenal de Kiel sont *le Frédéric-le-Grand* (6 800 tonneaux) et *la Bavière* (7 400). Lorsque les installations seront entièrement achevées, l'arsenal de Kiel comptera sinon parmi les plus étendus de l'Europe, du moins parmi ceux dont le plan d'ensemble aura été le plus pratiquement conçu.

A côté de l'arsenal on trouve à Kiel deux grands établissements de constructions navales appartenant à l'industrie privée, et qui méritent de nous arrêter également quelques instants. Les installations de la Société *Germania* sont adjacentes à l'arsenal. Elles occupent une superficie de 12 *ha*, dont 5 sont tout spécialement affectés à la construction des navires. Les bâtiments couverts occupent 9 600 *mq*. On y trouve 9 calles de construction pouvant mettre en chantier des navires atteignant jusqu'à 9 000 tonneaux (1).

Parmi les divers ateliers de la *Germania*, la chaudronnerie mérite également une mention spéciale. On y a annexé une installation pour le décapage des tôles d'acier consistant en trois grands bassins renfermant, le premier une dissolution d'acide sulfurique, le second un lait de chaux, et le troisième de l'eau chaude. On pense améliorer la qualité des tôles par une immersion successive dans ces trois bassins après les diverses chaudes.

La Société *Germania* possède à Tegel, près de Berlin, une annexe importante destinée à la construction des machines, et en particulier des machines navales qu'elle emploie.

Les chantiers *Hovalt*, également installés à Kiel, occupent une surface de 6 *ha*; de nombreuses maisons de colonies appartenant à la même entreprise s'étendent sur 30 *ha* environ. Les bâtiments forment ici 14 000 *mq*. Nous citerons parmi les principaux appareils en service un dock flottant pouvant recevoir des navires jusqu'à 1 800 tonneaux, une grue fixe de 60 *t* et 7,60 *m* de volée. L'ajustage qui occupe à lui seul 3 000 *mq* est renfermé dans un bâtiment à trois nefs ; la nef centrale, qui a 16 *m* de hauteur et 20 *m* de largeur, est parcourue par une grue roulante de 20 *t*. Ces établissements ont construit jusqu'à présent 168 navires jaugeant ensemble 107 000 tonneaux de déplacement, et 331 machines marines représentant ensemble 56 300 chevaux.

Bien que présentant au point de vue qui nous occupe un en-

(1) Comme élément de comparaison nous rappelons ici que les chantiers et ateliers de constructions navales de la Compagnie Générale Transatlantique à Penhoët, près de Saint-Nazaire, occupent une surface totale de 11 *ha* avec 21 832 *mq* de bâtiments couverts.



de 5
. mais
ns les
. L'in-
rivent
us des

istique
e. Nous
alheur,
e l'Alle-
total des
nsemble
nonymat
30 0/0 au
ne a, du
s années
en ce mo-
où l'excès
a été fait
ation s'est
as prix du
de revient
vec succès
ors le mo-
nent établi
, en main-
que coûte
sait sentir.
en dehors
s propice
pas, saura
lonne la
et.

plète de la situation économique de l'industrie du fer et de l'acier en Allemagne.

Les 103 Sociétés dont il s'agit représentent ensemble un capital de 455 156 000 *f*; les bénéfices se sont élevés à 26 612 500 *f*; il faut en déduire les pertes qui ont été de 2 586 250 *f*; reste un bénéfice de 24 026 250 *f* représentant un intérêt de 5,30 0/0 pour le capital engagé.

Si on examine séparément les résultats des usines à fer et ceux des ateliers de construction, on constate que 50 usines formant ensemble un capital de 308 501 250 *f* n'ont donné après déduction des pertes faites par quelques-unes d'entre elles qu'un intérêt de 3,67 0/0, tandis que 53 ateliers représentant 146 654 750 *f* ont donné également après déduction des pertes 9,10 0/0 d'intérêt. L'industrie des constructions métalliques est donc dans une situation beaucoup plus prospère que celle à qui incombe l'élaboration des matières à un moindre degré d'avancement. Il est aussi à remarquer que ces dernières travaillent avec des capitaux beaucoup plus considérables, ce qui s'explique par la nature des appareils qu'elles emploient et les sacrifices qu'elles ont à faire pour se tenir à la hauteur de tous les progrès. Le renouvellement des nombreuses machines-outils qui composent un atelier d'ajustage peut se faire peu à peu et sans charges trop sensibles. Lorsqu'il s'agit de remplacer dans les usines à fer les fours à puddler par des convertisseurs Thomas, et de substituer aux appareils à air chaud en fonte ceux en briques réfractaires, les administrations peu prévoyantes et ne disposant pas de réserves suffisantes ne peuvent réaliser ces améliorations qu'en faisant des emprunts, qui aboutissent le plus souvent à une augmentation du capital social et, par suite, à une réduction d'intérêt.

La même inégalité, quant aux résultats obtenus, se produit dans chacun des deux groupes envisagés. C'est ainsi que sur 50 usines, 33 ont donné des bénéfices, 9 ont clos leur exercice sans bénéfice ni perte, 8 se sont trouvées en perte; parmi les 53 ateliers de construction, 49 ont été en bénéfice, 8 aussi en perte, et 1 seul établissement n'a gagné ni perdu dans l'exercice envisagé. C'est là une conséquence naturelle de la lutte pour l'existence dans des moments de crise, comme ceux qui paraissent devoir marquer la fin de ce siècle. Les organismes forts et bien constitués s'élèvent au-dessus des faibles, et tendent même à leur destruction. Du reste, même parmi les établissements ayant produit un bénéfice, les grosses répartitions ont été peu nombreuses; 6 Sociétés ont

donné à leurs actionnaires plus de 10 0/0; 9 leur ont attribué de 5 à 10 0/0; enfin 14 ont servi un intérêt variant de 1 à 5 0/0, mais se rapprochant le plus souvent de ce dernier chiffre. Dans les ateliers, les résultats, nous l'avons déjà dit, sont meilleurs. L'intérêt de 10 0/0 est servi par 9 Compagnies; 19 d'entre elles arrivent à la répartition de 5 0/0; et les 17 autres se tiennent dans des chiffres plus modestes.

Il n'existe en France, à notre connaissance, aucune statistique analogue, et, dans tous les cas, elle n'a jamais été publiée. Nous croyons pouvoir dire, sans être traité de prophète de malheur, qu'elle ne fournirait que des résultats inférieurs à ceux que l'Allemagne fait connaître, sinon au point de vue du montant total des capitaux investis, au moins quant à leur rémunération. L'ensemble de nos usines et de nos ateliers soumis au régime de l'anonymat n'a certainement pas donné, en 1887, un intérêt de 5,30 0/0 au capital-actions engagé dans ces entreprises. L'Allemagne a, du reste, traversé, comme nous et même avant nous, des années mauvaises; c'est ainsi que le chiffre que nous discutons en ce moment n'avait été en 1879 que de 2,49 0/0, au moment où l'excès des constructions nouvelles, qui a dépassé tout ce qui a été fait chez nous, avait amené une fâcheuse réaction. Si la situation s'est depuis notablement améliorée, cela tient d'abord au bas prix du charbon qui a permis à l'Allemagne d'abaisser ses prix de revient au niveau de ceux de l'Angleterre et de lui disputer avec succès les marchés lointains dont cette dernière avait jusqu'alors le monopole, mais aussi à l'esprit d'entente qui s'est promptement établi entre les fabricants d'un même article, et leur a permis, en maintenant les prix sur le marché intérieur, d'enlever coûte que coûte des commandes à l'étranger lorsque le besoin s'en faisait sentir. C'est en Allemagne que les syndicats industriels, faits en dehors de toute pensée d'agiotage, ont trouvé le terrain le plus propice pour leur développement. La France, nous n'en doutons pas, saura suivre cet exemple et profiter aussi des avantages que donne la réunion d'efforts intelligents concentrés sur un même objet.

MÉMOIRE

SUR LES

DÉFORMATIONS ÉLASTIQUES

DES

PIÈCES ET DES SYSTÈMES DE PIÈCES

A FIBRES MOYENNES PLANES OU GAUCHES

THÉORIE NOUVELLE ET APPLICATIONS

PAR

M. BERTRAND DE FONTVIOLANT

DEUXIÈME PARTIE (*)

ARCS — POUTRES CONTINUES — POUTRES ENCASTRÉES

Forces extérieures fixes — Variations de température — Lignes d'influence

---

CHAPITRE PREMIER

Expressions symboliques et construction des déformations des pièces à fibres moyennes planes.

§ 31. — Indications préliminaires.

Nous allons transformer les formules générales simplifiées (A_1) et (B_1) (§ 15, 1re partie) (**) en ayant égard à la nature des liaisons auxquelles la pièce considérée est soumise.

Pour plus de généralité, nous supposerons qu'il y a des liaisons surabondantes. On sait que, dans ce cas, pour le calcul des quantités μ, ν et θ qui entrent dans les formules (A) et (B), on peut supprimer les liaisons surabondantes, c'est-à-dire ramener la pièce à n'être plus astreinte qu'à des liaisons indépendantes de l'élasticité, et qu'on est généralement maître du choix de ces dernières parmi toutes les liaisons existantes (§ 13).

(*) Voir la 1re partie au *Bulletin* d'Août 1888 (page 291).

(**) Ces formules supposent qu'on néglige les déformations de l'ordre de la tension longitudinale et de l'effort tranchant.

Cette considération conduit à distinguer suivant que les liaisons indépendantes de l'élasticité appartiennent à l'un ou à l'autre des systèmes définis au § 2, savoir :

1er Système. — Un point de la poutre est assujetti à rester entièrement fixe, tandis qu'un autre point est astreint à demeurer sur une droite donnée du plan de flexion;

2e Système. — Une section est assujettie à conserver une position invariable.

§ 32. — Expressions symboliques des déformations dans le cas où les liaisons indépendantes de l'élasticité sont du premier système.

Soient AB la pièce donnée *(fig. 1)*, F le point assujetti à rester fixe, E le point astreint à demeurer sur une droite fixe WW' (*).

Soient également deux axes, l'un *ox* parallèle à WW', l'autre *oy* perpendiculaire.

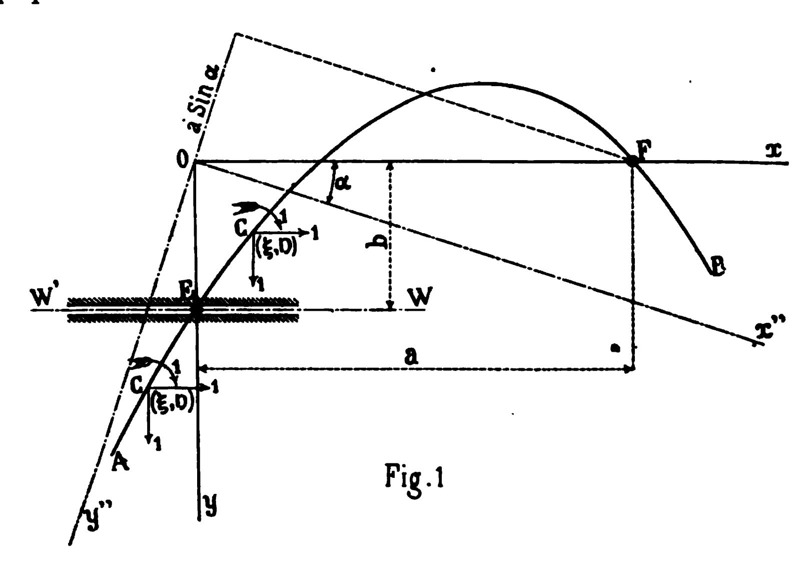


Fig. 1

Les forces agissant sur la poutre sont quelconques, mais situées dans le plan de la ligne moyenne. Elles déterminent en chaque point un moment fléchissant que nous représenterons par M.

Définitions. — Imaginons qu'ayant supprimé ces forces et les liaisons surabondantes, nous appliquions en tous les éléments *ds* de la ligne moyenne, des *efforts fictifs* $\frac{M}{EI}$ *ds* perpendiculaires à WW'

(*) La figure ne représente que le système des liaisons indépendantes de l'élasticité.

et dirigés dans le sens des y positifs, ou en sens contraire, suivant que M est positif ou négatif.

Nous appellerons *réactions fictives*, les réactions que ceux des efforts fictifs répartis entre les points E et F déterminent en ces points, abstraction faite des forces fictives agissant sur les parties de poutre AE et FB, ou, autrement dit, en supposant ces deux parties supprimées.

THÉORÈME I. — *Étant donnée une pièce, de ligne moyenne* AB, *soumise à des forces qui y développent des moments fléchissants* M, *et astreinte à des liaisons quelconques mais telles qu'on peut, par la suppression des liaisons surabondantes, la ramener à n'être plus assujettie qu'au premier système de liaisons indépendantes de l'élasticité (point F fixe et point* E *assujetti à demeurer sur une droite* WW'),*— si, ayant rapporté cette pièce à deux axes de coordonnées, l'un ox parallèle à* WW', *l'autre oy perpendiculaire, on applique aux divers éléments ds de la ligne moyenne, des forces fictives* $\frac{M}{EI}$ *ds perpendiculaires à* WW' *et dirigées dans le sens des y positifs ou en sens inverse, suivant que* M *est lui-même positif ou négatif :*

(A). — *En tout point* C *situé entre* A *et* F *:*

1° *La somme des moments par rapport à* C, *des forces fictives réparties entre* C *et* F *et de la réaction fictive en* F, *représente, en grandeur et en signe, le déplacement* $(l_y)_C$ *du point* C *estimé suivant l'axe des y.*

De sorte que si l'on convient de représenter cette somme de moments par le symbole $\underset{C}{\overset{C.\overline{F}}{\mathcal{M}Y}} \frac{M}{EI} ds$, on a

$$(I) \qquad (l_y)_C = \underset{C}{\overset{C.\overline{F}}{\mathcal{M}Y}} \frac{M}{EI} ds. (*)$$

2° *Si on fait tourner de 90 degrés dans le sens rétrograde* (sens inverse de la rotation des aiguilles d'une montre) *les forces fictives réparties entre* C *et* F, *y compris la réaction fictive en* F, *la somme des moments de ces forces par rapport à* C, *représente, en grandeur et en signe,*

(*) La lettre placée en indice représente le point par rapport auquel les moments sont pris ; les deux lettres supérieures désignent les limites de la zone sur laquelle agissent celles des forces fictives dont il faut prendre les moments ; le trait qui surmonte la lettre F indique que la réaction fictive en F fait partie des dites forces fictives.

le déplacement $(l_x)_C$ *du point* C *estimé suivant l'axe des* x *;* en sorte qu'on peut écrire

$$\text{(II)} \qquad (l_x)_C = \overset{C.F}{\underset{C}{MX}} \frac{M}{EI}\, ds.$$

3° *La somme algébrique des forces fictives réparties entre* C *et* F, *y compris la réaction fictive en* F, *représente, en grandeur et au signe près, le déplacement angulaire* g_C *de la section transversale qui contient le point* C ; et nous écrivons

$$\text{(III)} \qquad g_C = - \overset{C.F}{\underset{C}{T}} \frac{M}{EI}\, ds \ (*).$$

(B). — *En tout point* C *situé entre* B *et* E *:*

1° *La somme des moments par rapport à C, des forces fictives réparties entre* C *et* E, *et de la réaction fictive en* E, *représente, en grandeur et au signe près, le déplacement du point* C *estimé suivant l'axe des* y ; et l'on a

$$\text{(I } bis\text{)} \qquad (l_y)_C = - \overset{C.E}{\underset{C}{MY}} \frac{M}{EI}\, ds.$$

2° *Si on fait tourner de 90 degrés dans le sens rétrograde, les forces fictives réparties entre* C *et* E, *y compris la réaction fictive en* E, *la somme des moments de ces forces par rapport à* C, *représente, en grandeur et au signe près, le déplacement du point* C *estimé suivant l'axe des* x ; on a donc

$$\text{(II } bis\text{)} \qquad (l_x)_C = - \overset{C.E}{\underset{C}{MX}} \frac{M}{EI}\, ds.$$

3° *La somme algébrique des forces fictives réparties entre* C *et* E, *y compris la réaction fictive en* E, *représente, en grandeur et en signe, le déplacement angulaire de la section transversale qui contient le point* C; en sorte qu'on a

$$\text{(III } bis\text{)} \qquad g_C = \overset{C.E}{\underset{C}{T}} \frac{M}{EI}\, ds.$$

Nous ne justifierons que la partie (A) du théorème ; la partie (B) se démontre d'ailleurs de la même manière.

(*) L'analogie que présente cette somme de forces avec un *effort tranchant* dans une poutre droite nous a conduit à la désigner par la lettre T.

Pour simplifier les calculs, nous ferons passer l'axe des y par le point E avant déformation, et celui des x par le point fixe F. a représentera l'abscisse du point F et b l'ordonnée du point E.

Démonstration du 1° de la partie (A) du théorème. — Appliquons la formule (A_1) (§ 15, 1re partie) à l'évaluation du déplacement $(l_y)_C$. Dans cette formule, M désigne le moment fléchissant produit par les forces directement appliquées, en chaque point de la ligne moyenne de la pièce astreinte à toutes ses liaisons ; μ est le moment fléchissant que produirait, en chaque point de la pièce supposée assujettie seulement aux liaisons indépendantes de l'élasticité, une force auxiliaire égale à l'unité, appliquée en C, dirigée parallèlement à oy et dans le sens des y positifs.

Pour le calcul de μ, il y a lieu de distinguer suivant que C se trouve entre A et E ou entre E et F (*fig. 1*).

(a) — *Le point* C *est situé entre* A *et* E. — Soient ξ et η ses coordonnées par rapport à ox et oy.

Le moment μ a les valeurs suivantes :

En tout point (xy) situé entre A et C : $\mu = 0$;

— — C et E : $\mu = x - \xi$;

— — E et F : $\mu = -\frac{\xi}{a}(a - x)$

$= x - \xi - \frac{a-\xi}{a}x$;

— — F et B : $\mu = o$.

D'où

$$(l_y)_C = \int_A^B \frac{M\mu}{EI} ds = \int_C^E \frac{Mds}{EI}(x-\xi) + \int_E^F \frac{Mds}{EI}(x-\xi)$$

$$+ \int_E^F \frac{Mds}{EI}\left(-\frac{a-\xi}{a}x\right),$$

ou

$$(a) \qquad (l_y)_C = \int_C^F \frac{Mds}{EI}(x-\xi) - (a-\xi)\int_E^F \frac{Mds}{EI}\frac{x}{a}.$$

Le premier terme de cette formule représente la somme des moments par rapport à C des forces fictives réparties entre C

et F, et le second le moment de la réaction fictive en F. On a donc bien, dans le cas où le point C est situé entre A et E,

$$(l_y)_C = \overset{C.F}{\underset{C}{\mathfrak{M}}} Y \frac{M}{EI} ds.$$

(b). — *Le point* C *est situé entre* E *et* F. — Dans ce cas, le moment μ a pour valeurs :

En tout point (xy) situé entre A et E : $\mu = 0$;

— — E et C : $\mu = -\frac{a-\xi}{a} x$;

— — C et F : $\mu = -\frac{\xi}{a}(a-x) = -\frac{a-\xi}{a} x + x - \xi$;

— — F et B : $\mu = 0$.

D'où :

$$(l_y)_C = \int_A^B \frac{M\mu}{EI} ds = \int_E^C \frac{Mds}{EI}\left(-\frac{a-\xi}{a}x\right) + \int_C^F \frac{Mds}{EI}\left(-\frac{a-\xi}{a}x\right) + \int_C^F \frac{Mds}{EI}(x-\xi),$$

ou

$$(a) \qquad (l_y)_C = \int_C^F \frac{Mds}{EI}(x-\xi) - (a-\xi)\int_E^F \frac{Mds}{EI}\frac{x}{a}.$$

Le premier terme de cette formule représente la somme des moments par rapport à C des forces fictives réparties entre C et F, et le second, le moment de la réaction fictive en F ; ce qui justifie le 1° du théorème.

Démonstration du 2° de la partie (A) du théorème. — Appliquons la formule (A_1) à l'évaluation du déplacement $(l_x)_C$. Dans ce cas, μ désigne le moment fléchissant que produirait, en chaque point de la pièce supposée assujettie seulement aux liaisons indépendantes de l'élasticité, une force auxiliaire égale à l'unité, appliquée en C, dirigée parallèlement à ox et dans le sens des x positifs.

Pour le calcul de μ, il faut encore distinguer suivant que C se trouve entre A et E ou entre E et F.

(a) — *Le point* C *est entre* A *et* E. — Dans cette hypothèse, le moment μ a les valeurs suivantes :

En tout point (xy) situé entre A et C : $\mu = 0$;
— — C et E : $\mu = \eta - y$;
— — E et F : $\mu = \eta - y - \frac{\eta}{a} x$;
— — F et B : $\mu = 0$.

Par suite

$$(l_x)_C = \int_A^B \frac{M\mu}{EI} ds = \int_C^E \frac{Mds}{EI}(\eta - y) + \int_E^F \frac{Mds}{EI}(\eta - y)$$
$$- \int_E^F \frac{Mds}{EI}\frac{\eta}{a} x;$$

ou

$$(b) \qquad (l_x)_C = \int_C^F \frac{Mds}{EI}(\eta - y) - \eta \int_E^F \frac{Mds}{EI}\frac{x}{a}.$$

Or, si l'on fait tourner de 90° dans le sens rétrograde les forces fictives $\frac{Mds}{EI}$ et la réaction fictive en F envisagée au 1° du théorème, laquelle a pour expression $\int_E^F \frac{Mds}{EI}\frac{x}{a}$, on voit que le premier terme de la formule (*b*) représente la somme des moments par rapport à C de celles de ces forces qui sont réparties entre C et F et que le second est égal au moment par rapport à C de la réaction fictive en F.

Le 2° du théorème est donc démontré pour le cas où le point C est entre A et E.

(b) *Le point* C *est entre* E *et* F. — Dans cette hypothèse, on a :
En tout point (xy) situé entre A et E : $\mu = 0$;
— — E et C : $\mu = -\frac{\eta}{a} x$;
— — C et F : $\mu = -\frac{\eta}{a} x + (\eta - y)$;
— — F et B : $\mu = 0$.

Par conséquent,

$$(l_z)_C = \int_A^B \frac{M\mu}{EI}\,ds = \int_E^C \frac{Mds}{EI}\left(-\frac{\eta}{a}\,x\right) + \int_C^F \frac{Mds}{EI}\left(-\frac{\eta}{a}\,x\right)$$

$$+ \int_C^F \frac{Mds}{EI}(\eta - y),$$

ou

$$(b) \qquad (l_z)_C = \int_C^F \frac{Mds}{EI}(\eta - y) - \eta \int_E^F \frac{Mds}{EI}\,\frac{x}{a},$$

relation qui conduit à la même conclusion que précédemment.

Démonstration du 3° de la partie (A) du théorème. — Appliquons la formule (B_1) (§ 15, 1re partie) au calcul du déplacement g_C. Dans cette formule, μ désigne le moment fléchissant que produirait, en chaque point de la pièce supposée assujettie seulement aux liaisons indépendantes de l'élasticité, un couple auxiliaire égal à l'unité, appliqué à la section C.

Il faut, comme précédemment, distinguer suivant que C se trouve entre A et E ou entre E et F.

(a) *Le point* C *est entre* A *et* E.

Dans ce cas, le moment μ a pour valeurs :
En tout point (xy) situé entre A et C : $\mu = 0$;
— — C et E : $\mu = -1$;
— — E et F : $\mu = -1 + \frac{x}{a}$;
— — F et B : $\mu = 0$.

Donc

$$g_C = \int_A^B \frac{M\mu}{EI}\,ds = \int_C^E -\frac{Mds}{EI} + \int_E^F -\frac{Mds}{EI} + \int_E^F \frac{Mds}{EI}\,\frac{x}{a},$$

ou

$$(c) \qquad g_C = -\left\{\int_C^F \frac{Mds}{EI} - \int_E^F \frac{Mds}{EI}\,\frac{x}{a}\right\}.$$

La première intégrale de la parenthèse représente la somme algébrique des forces fictives $\frac{Mds}{EI}$ réparties entre C et F, et la seconde, avec son signe, est égale à la réaction fictive en F.

Le 3° du théorème est donc démontré pour le cas où le point C se trouve entre A et E.

(b). — *Le point* C *se trouve entre* E *et* F.

Dans cette hypothèse, les valeurs de μ sont les suivantes :

En tout point (xy) situé entre A et E : $\mu = 0$.

— — E et C : $\mu = \frac{x}{a}$.

— — C et F : $\mu = \frac{x}{a} - 1$.

— — F et B : $\mu = 0$.

Par conséquent,

$$g_C = \int_A^B \frac{M\mu}{EI} ds = \int_E^C \frac{Mds}{EI} \frac{x}{a} + \int_C^F \frac{Mds}{EI} \frac{x}{a} - \int_C^F \frac{Mds}{EI},$$

ou, comme dans la cas où C est entre A et E,

$$(c) \qquad g_C = -\left\{ \int_C^F \frac{Mds}{EI} - \int_E^F \frac{Mds}{EI} \frac{x}{a} \right\}.$$

Corollaire. — *Pour déterminer le déplacement d'un point quelconque* C, *suivant une direction arbitrairement choisie* ox'' (fig. 1, p. 417), *faisant un angle* α *avec* W'W, *c'est-à-dire avec* ox, *on opérera de la manière suivante :*

(A) — *Si le point* C *est situé entre* A *et* F, *on amènera les forces fictives réparties entre* C *et* F, *ainsi que la réaction fictive en* F, *à être parallèles à* ox'', *au moyen d'une rotation rétrograde d'un angle* ($90° - \alpha$) *autour de leurs points d'application respectifs, et on prendra la somme des moments de ces forces par rapport au point* C ; ce qui peut se traduire par la formule

$$(l_{x''})_C = \overset{C.\overline{F}}{\underset{C}{\mathcal{M}}} X'' \frac{M}{EI} ds.$$

(B) — *Si le point* C *est situé entre* B *et* E, *on amènera, comme précé-*

demment, les forces fictives réparties entre C *et* E, *ainsi que la réaction fictive en* E, *à être parallèles à* ox'', *et on prendra par rapport au point* C, *la somme des moments de ces forces, dont on changera le signe*; ce qui peut se traduire par la formule

$$(l_{x''})_C = - \overset{C.\overline{E}}{\underset{C}{MX''}} \frac{M}{EI} ds.$$

Nous ne ferons la démonstration que pour le cas (A).

On a évidemment

$$(l_{x''})_C = (l_y)_C \sin\alpha + (l_x)_C \cos\alpha.$$

D'ailleurs, $(l_y)_C$ et $(l_x)_C$ sont exprimés, quelle que soit la position de C sur AF, par les formules *(a)* et *(b)* établies plus haut. En substituant dans la relation qui précède, il vient

$$(l_{x''})_C = \int_C^F \frac{Mds}{EI} (-\xi\sin\alpha + \eta\cos\alpha + x\sin\alpha - y\cos\alpha)$$

$$- (a\sin\alpha - \xi\sin\alpha + \eta\cos\alpha) \int_E^F \frac{Mds}{EI}\frac{x}{a}.$$

Or, si on désigne par x'', y'', les coordonnées courantes d'un point quelconque de la ligne moyenne et par ξ'', η'', les coordonnées du point C, relativement aux axes rectangulaires ox'', oy'', on a :

$$x'' = x\cos\alpha + y\sin\alpha; \qquad \xi'' = \xi\cos\alpha + \eta\sin\alpha;$$
$$y'' = -x\sin\alpha + y\cos\alpha; \qquad \eta'' = -\xi\sin\alpha + \eta\cos\alpha;$$

Donc

$$(l_{x''})_C = \int_C^F \frac{Mds}{EI}(\eta'' - y'') - (a\sin\alpha + \eta'')\int_E^F \frac{Mds}{EI}\frac{x}{a}.$$

Cette expression représente précisément la somme des moments par rapport à C, des forces fictives $\frac{Mds}{EI}$ réparties entre C et F, et de la réaction fictive en F, laquelle a pour valeur $\int_E^F \frac{Mds}{EI}\frac{x}{a}$ et

dont le bras de levier est $(a \sin \alpha + \eta_1'')$, — étant entendu que ces forces et cette réaction fictives sont supposées avoir été rendues parallèles à ox''.

Nota. — Le théorème qui précède et son corollaire sont indépendants de la direction de WW′ qui peut, par exemple, coïncider avec la droite EF.

§ 33. — Expressions symboliques des déformations dans le cas où les liaisons indépendantes de l'élasticité sont du second système.

THÉORÈME II. — *Étant donnée une pièce de ligne moyenne* AB (fig. 2), *soumise à des forces qui y développent des moments fléchissants* M, *et astreinte à des liaisons quelconques mais telles qu'on peut, par la suppression des liaisons surabondantes, la ramener à n'être plus assujettie qu'au second système de liaisons indépendantes de l'élasticité* (*) *(Section* E *encastrée),* — *si, ayant rapporté cette pièce à deux axes rectangulaires quelconques ox et oy, on applique aux divers éléments ds de la ligne moyenne, des forces fictives* $\frac{M}{EI}\,ds$, *parallèles à oy et dirigées dans le sens des y positifs, ou en sens inverse, suivant que* M *est positif ou négatif :*

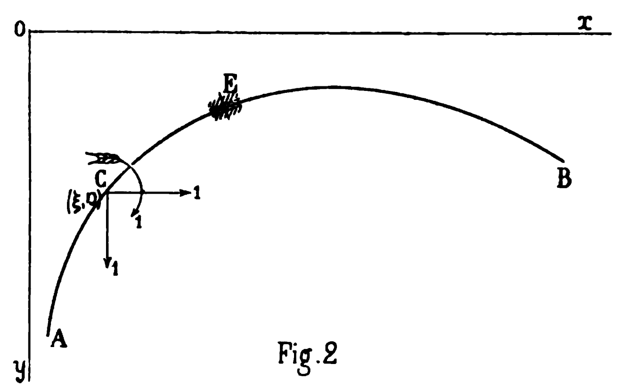


Fig. 2

(A). — *En tout point* C *situé entre* A *et* E :

1° La somme des moments par rapport à C, *des forces fictives réparties entre* C *et* E, *représente, en grandeur et en signe, le déplacement* $(l_y)_C$ *du point* C *estimé suivant la direction oy ;* de sorte qu'on a

$$\text{(IV)} \qquad (l_y)_C = \overset{C.E}{\underset{C}{MY}} \frac{M}{EI}\,ds.$$

(*) La figure ne représente que les liaisons indépendantes de l'élasticité.

2° *Si on fait tourner de 90° dans le sens rétrograde les forces fictives réparties entre* C *et* E, *la somme des moments de ces forces par rapport à* C *représente, en grandeur et en signe, le déplacement* $(l_x)_C$ *du point* C, *estimé suivant l'axe des* x; et l'on a par suite

(V). $$(l_x)_C = \overset{C.E}{\underset{C}{\mathfrak{M}X}} \frac{M}{EI} ds.$$

3° *La somme algébrique des forces réparties entre* C *et* E *représente, en grandeur et au signe près, le déplacement angulaire de la section* C; en sorte qu'on peut écrire

(VI) $$g_C = -\overset{C.E}{\underset{C}{T}} \frac{M}{EI} ds.$$

(B) — *Pour tout point* C *situé entre* E *et* B, *les propositions précédentes subsistent aux signes près*, de telle manière qu'on a

(IV *bis*) $$(l_y)_C = -\overset{C.E}{\underset{C}{\mathfrak{M}Y}} \frac{M}{EI} ds,$$

(V *bis*) $$(l_x)_C = -\overset{C.E}{\underset{C}{\mathfrak{M}X}} \frac{M}{EI} ds,$$

(VI *bis*) $$g_C = +\overset{C.E}{\underset{C}{T}} \frac{M}{EI} ds.$$

Nous n'établirons que la partie (A) du théorème ; la partie (B) se démontre d'ailleurs de la même manière.

DÉMONSTRATION DU 1° DE LA PARTIE (A) DU THÉORÈME. — Appliquons la formule (A_1) (§ 15, 1re partie) à l'évaluation du déplacement $(l_y)_C$. Dans ce cas, μ désigne le moment fléchissant que produirait, en chaque point de la pièce supposée assujettie seulement aux liaisons indépendantes de l'élasticité, une force auxiliaire égale à l'unité, appliquée en C, dirigée parallèlement à oy et dans le sens des y positifs.

Soient ξ et η les coordonnées du point C par rapport aux axes ox et oy.

Le moment μ a les valeurs suivantes :

En tout point (xy) situé entre A et C : $\mu = 0$;
— — C et E : $\mu = x - \xi$;
— — E et B : $\mu = 0$.

Donc

$$(l_y)_C = \int_A^B \frac{M\mu}{EI} ds = \int_C^E \frac{M ds}{EI} (x - \xi),$$

expression qui représente bien la somme des moments, par rapport à C, des efforts fictifs $\frac{Mds}{EI}$ répartis entre C et E.

Démonstration du 2° de la partie (A) du théorème. — Appliquons encore la formule (A_1) à l'évaluation du déplacement $(l_x)_C$. Dans ce cas, la force auxiliaire est dirigée parallèlement à ox et dans le sens des x positifs. On a par suite :

En tout point (xy) situé entre A et C : $\mu = 0$.
— — C et E : $\mu = \eta - y$.
— — E et B : $\mu = 0$.

D'où

$$(l_x)_C = \int_A^B \frac{M\mu}{EI}\,ds = \int_C^E \frac{Mds}{EI}(\eta - y).$$

Cette expression représente bien la somme des moments, par rapport à C, des forces fictives réparties entre C et E, ces forces étant supposées avoir été rendues parallèles à ox, par une rotation rétrograde d'un angle de 90° autour de leurs points d'application respectifs (*).

Démonstration du 3° de la partie (A) du théorème. — Calculons par la formule (B_1) (§ 15, 1re partie) le déplacement angulaire g_C. μ désigne, dans ce cas, le moment fléchissant que produirait en chaque point de la ligne moyenne, un couple auxiliaire positif, d'intensité 1, appliqué à la section C. On a par suite :

En tout point (xy) situé entre A et C : $\mu = 0$.
— — C et E : $\mu = -1$.
— — E et B : $\mu = 0$.

Donc

$$g_C = \int_A^B \frac{M\mu}{EI}\,ds = -\int_C^E \frac{Mds}{EI},$$

formule qui justifie l'énoncé.

(*) Ce 2° résulte d'ailleurs immédiatement du 1°, puisque, la direction des axes de coordonnées étant arbitraire, on peut changer ox en oy et réciproquement.

§ 34. — Construction des déformations dans le cas où les liaisons indépendantes de l'élasticité sont du premier système.

Soit AB la pièce donnée (*fig. 1*, pl. 200), assujettie à des liaisons quelconques mais telles que, par la suppression des liaisons surabondantes, on peut la ramener à n'être plus astreinte qu'aux liaisons du premier système, savoir : point F entièrement fixe et point E assujetti à rester sur une droite donnée WW′.

Des forces agissent sur cette pièce et déterminent des moments fléchissants M que nous supposons connus, et des déplacements élastiques que nous nous proposons de construire.

1° *Déplacements linéaires* l_y *perpendiculaires à* W′W. — Divisons la ligne moyenne de la pièce en un certain nombre de parties Δs égales entre elles, assez petites pour que, dans chacune d'elles, le moment fléchissant M ainsi que les quantités E et I puissent être considérés comme constants. Au milieu de chaque division, appliquons un effort fictif parallèle à oy, ayant pour intensité $\frac{M}{EI}\Delta s$ et dirigé dans le sens des y positifs ou en sens inverse, suivant que M est positif ou négatif. Soient 1, 2, ... 10, 11, ces efforts (*).

Traçons-en le polygone qui se réduit à une droite *aefb* ; avec une distance polaire B arbitraire, que nous convenons de porter à gauche ou à droite du polygone des forces suivant qu'elle est positive ou négative, construisons le polygone funiculaire correspondant $A_yE_yF_yB_y$; menons à ce polygone la ligne de fermeture E_yF_y qui le coupe en ses points d'intersection avec les ordonnées des points E et F. Enfin, par le pôle P du polygone des forces, conduisons une parallèle PQ à E_yF_y.

En vertu d'une propriété connue des polygones funiculaires, les lignes *f* Q et Q*e* représentent respectivement les réactions fictives R_F et R_E que développent en F et en E les forces fictives 4, 5.. 8, 9, réparties entre E et F, abstraction faite des forces fictives appliquées sur AE et sur FB.

Cela posé, d'après une autre propriété également connue, le moment par rapport à un point C quelconque, situé entre A et F, des forces fictives $\frac{M}{EI}\Delta s$ réparties entre C et F, et de la réaction

(*) Sur la figure, les efforts fictifs portent les mêmes numéros que leurs points d'application.

fictive en F, est égal, en grandeur et en signe, au produit de la distance polaire B par le segment $c_y C_y$ intercepté par le polygone funiculaire et par sa ligne de fermeture sur l'ordonnée du point C, — étant entendu que la distance polaire B est lue sur l'épure à l'échelle des efforts fictifs $\frac{M}{EI} \Delta s$, que le segment $c_y C_y$ est lu à l'échelle des longueurs, et qu'il est affecté du signe $+$ ou du signe $-$ suivant que C_y est au-dessous ou au-dessus de $a_y b_y$.

Or, en vertu du théorème I (§ 32) et à la substitution près des efforts fictifs élémentaires $\frac{M}{EI} \Delta s$ à ceux infiniment petits $\frac{M}{EI} ds$, le moment dont il s'agit est égal au déplacement $(l_y)_C$ du point C, estimé suivant l'axe des y. Donc

$$(l_y)_C = B \times c_y C_y.$$

On démontrerait de la même manière que cette relation est encore vraie lorsque le point C est situé entre F et B.

2° *Déplacements linéaires l_x parallèles à* W'W. — Faisons tourner de 90° dans le sens rétrograde, les efforts fictif 1, 2, ... 11, ainsi que les réactions fictives R_F et R_E; le polygone de ces forces et les rayons polaires correspondants tournent du même angle; aux nouvelles positions 1', 2', ... 11', de ces efforts, répond un nouveau polygone funiculaire $A_x F_x B_x$. Par le point F_x correspondant au point F, menons une parallèle $F_x a_x$ à P'Q'.

D'après une propriété déjà invoquée, le moment par rapport à un point C quelconque, situé entre A et F, des forces fictives réparties entre C et F et de la réaction fictive en F est égal au produit de la distance polaire B par le segment $c_x C_x$ intercepté par le polygone funiculaire et la ligne $F_x a_x$ sur l'abscisse du point C.

Or, en vertu du 2° du théorème I (§ 32) et à la substitution près des efforts fictifs élémentaires $\frac{M}{EI} \Delta s$ à ceux infiniment petits $\frac{M}{EI} ds$, ce moment est égal au déplacement $(l_x)_C$ du point C, estimé suivant la direction ox ou W'W. Donc

$$(l_x)_C = B \times c_x C_x,$$

étant entendu que la distance polaire B est lue sur l'épure à l'échelle des efforts fictifs, que le segment $c_x C_x$ est lu à l'échelle

des longueurs, et qu'il est affecté du signe + ou du signe —, suivant que C_x est à droite ou à gauche de $F_x b_x$.

On démontrerait de même que cette relation est vraie quand le point C est situé entre F et B.

3° *Déplacements angulaires g.* — Soient deux axes de coordonnées Qx_1 parallèle à WW', Qy_1 perpendiculaire. Par le point (1, 2), extrémité de l'effort fictif 1 et origine de l'effort 2, menons une parallèle à Qx_1 dont nous ne conservons que la partie comprise entre les lignes d'action de ces efforts. En répétant la même construction pour les points (2,3), (3,4) etc..., on obtient un diagramme dont une ordonnée quelconque $c_r C_r$, correspondante à un point C situé entre A et F, lue à l'échelle des $\frac{M}{EI}\Delta s$, représente la somme algébrique, changée de signe, des efforts fictifs répartis entre C et F et de la réaction fictive en F.

Or, cette somme changée de signe est égale, d'après le 3° du théorème I, à la rotation g_C de la section C. Donc

$$g_C = c_r C_r.$$

On vérifierait d'une manière analogue que cette formule s'applique encore au cas où le point C est situé entre F et B (*).

4° *Déplacements linéaires suivant une direction quelconque ox″ faisant un angle α avec ox.* — Amenons les forces fictives 1,2 ... 11, et les réactions fictives R_E, R_F, à être parallèles à ox'' par une rotation rétrograde d'un angle $(90° - \alpha)$ par rapport à leur direction première qui est celle de oy. La figure Pef tourne du même angle; soit $P''e''f''$ sa nouvelle position.

Traçons le polygone funiculaire $A_{x''} B_{x''}$ correspondant, puis par le point $F_{x''}$ correspondant à F menons une parallèle $F_{x''} a_{x''}$ à $P''Q''$.

On reconnait aisément, en se fondant sur une propriété déjà utilisée et sur le corollaire du théorème I, que l'on a, en un point C quelconque,

$$(l_{x''})_C = B \times c_{x''} C_{x''}.$$

(*) On se rend facilement compte qu'il est plus exact de remplacer le diagramme qui vient d'être défini, par une courbe continue partant de A_r pour aboutir en B_r et coupant les côtés du diagramme en leurs points d'intersection avec les ordonnées des points de division de la ligne moyenne.

§ 35. — Construction des déformations dans le cas où les liaisons indépendantes de l'élasticité sont du second système.

Soit AB la pièce donnée (*fig.* 2, pl. 200), assujettie à des liaisons quelconques mais telles que, par la suppression des liaisons surabondantes, on peut la ramener à n'être plus astreinte qu'au second système de liaisons indépendantes de l'élasticité, savoir : section E assujettie à rester absolument fixe.

Des forces agissent sur cette pièce et y déterminent des moments fléchissants M que nous supposons connus, et des déplacements que nous nous proposons de construire.

1° *Déplacements linéaires* $(l_y)_C$ *estimés suivant une direction oy arbitrairement choisie.* — Divisons la ligne moyenne en un certain nombre de parties Δs, égales entre elles. Au centre de chaque division appliquons un effort fictif $\frac{M}{EI}\Delta s$, parallèle à *oy*, dirigé dans le sens des *y* positifs si M est positif, ou en sens inverse dans le cas contraire. Soient 1, 2 ..... 12, ces efforts.

Traçons-en le polygone *ab*. Prenons un pôle quelconque P; soit B la distance polaire correspondante que nous convenons de regarder comme positive ou comme négative, suivant que P est à gauche ou à droite de *ab*.

Puis, traçons le polygone funiculaire A_yB_y relatif aux efforts 1, 2, ... 12 et au pôle P. Enfin, prolongeons, suivant a_yb_y, le côté de ce polygone qui est compris entre les forces fictives 4 et 5 contiguës à l'encastrement.

D'après une propriété connue, le moment par rapport à un point C quelconque, situé entre A et E, des forces fictives réparties entre C et E, est égal, en grandeur et en signe, au produit de la distance polaire B par le segment c_yC_y intercepté sur l'ordonnée du point C par le polygone funiculaire et la droite a_yb_y.

Or, en vertu du théorème II (§ 33), ce moment est égal au déplacement du point C estimé suivant *oy*. Donc

$$(l_y)_C = B \times c_yC_y,$$

étant bien entendu que B est lu sur l'épure à l'échelle des efforts fictifs $\frac{M}{EI}\Delta s$, que le segment c_yC_y est lu à l'échelle des longueurs

et qu'il est affecté du signe + ou du signe —, suivant que C_y est situé au-dessous ou au-dessus de $a_y b_y$.

Même démonstration pour un point C′ situé entre E et B.

2° *Déplacements angulaires*. — Soient deux axes de coordonnées : l'un o_1x_1 perpendiculaire à oy et mené par le point (4, 5) contigu aux efforts fictifs 4 et 5 situés de part et d'autre de E; l'autre o_1y_1 parallèle à oy.

Par le point (1,2), extrémité de l'effort fictif 1 et origine de l'effort 2, menons une parallèle à o_1x_1, dont nous ne conservons que la partie comprise entre les lignes d'action de ces efforts. Répétons la même construction pour les points (2,3) (3,4) ... etc. Nous obtenons ainsi un diagramme dont une ordonnée quelconque c_rC_r correspondant à un point C situé entre A et E, représente, à l'échelle des efforts fictifs, la somme algébrique changée de signe des efforts fictifs répartis entre C et E.

Or, en vertu du 3° du théorème II, cette somme changée de signe est égale au déplacement angulaire de la section C. Donc :

$$g_C = c_rC_r.$$

Même démonstration pour un point C′ situé entre E et B.

§ 36. — Remarques sur la construction des déformations.

Lorsque la pièce considérée est d'élasticité constante, et c'est le cas usuel, au lieu d'effectuer les constructions des §§ 34 et 35 en partant d'efforts fictifs égaux à $\frac{M}{EI}\Delta s$, il est commode d'opérer sur des efforts proportionnels à ceux-ci et ayant la valeur générale

$$\frac{M}{EI}\Delta s \left(\frac{EI_m}{n\Delta s}\right) = M\left(\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}\right),$$

dans laquelle n et I_m sont des constantes.

n est un nombre quelconque.

I_m est le moment d'inertie d'une section arbitrairement choisie la plus forte ou la plus faible par exemple.

M étant en général connu sous forme d'une ligne déterminée par une épure, on obtiendra facilement la quantité $M\left(\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}\right)$ par

la construction d'une quatrième proportionnelle entre la ligne en question, et deux autres lignes représentant $\frac{1}{n} I_m$ et I à une échelle convenablement choisie.

Les efforts fictifs $\frac{M}{EI} \Delta s$ étant changés en $M \left(\frac{\frac{1}{n} I_m}{I} \right)$, c'est-à-dire multipliés par le facteur constant $\frac{EI_m}{n \Delta s}$, les résultats des épures sont eux-mêmes multipliés par ce facteur; d'où il suit que $B \times c_y C_y$. $B \times c_x C_x$ et $c_r C_r$ (§§ 34 et 35) ne représentent plus les quantités $(l_y)_C$, $(l_x)_C$ et g_C, mais ces mêmes quantités affectées du facteur constant en question. On a donc :

$$(l_y)_C = \frac{n\Delta s}{EI_m} B \times c_y C_y; \quad (l_x)_C = \frac{n\Delta s}{EI_m} B \times c_x C_x; \quad g_C = \frac{n\Delta s}{EI_m} \times c_r C_r:$$

étant toujours entendu que les lignes $c_y C_y$ et $c_x C_x$ sont lues sur l'épure à l'échelle des longueurs, tandis que B et $c_r C_r$ sont lues à l'échelle des efforts fictifs employés, qui est précisément celle des moments M, puisque n est un nombre sans dimension et $\frac{I_m}{I}$ un rapport.

CHAPITRE II

Arc encastré à ses deux extrémités.

PREMIÈRE SECTION.

Forces extérieures fixes.

§ 37. — Méthode de détermination directe du moment fléchissant et des composantes, suivant deux directions rectangulaires quelconques, de la résultante de translation des forces intérieures en une section arbitrairement choisie. — Centre fixe de la travée. — Centres correspondants à une section.

Soit AB l'arc soumis à des forces extérieures quelconques, mais situées dans son plan, C le centre de gravité de la section consi-

dérée (*fig. 3*). Les forces intérieures développées dans cette section, considérées comme actions du tronçon BC sur le tronçon AC, sont réductibles à un couple dont l'axe a pour valeur le moment de flexion M en C, et à une force dont nous désignerons par

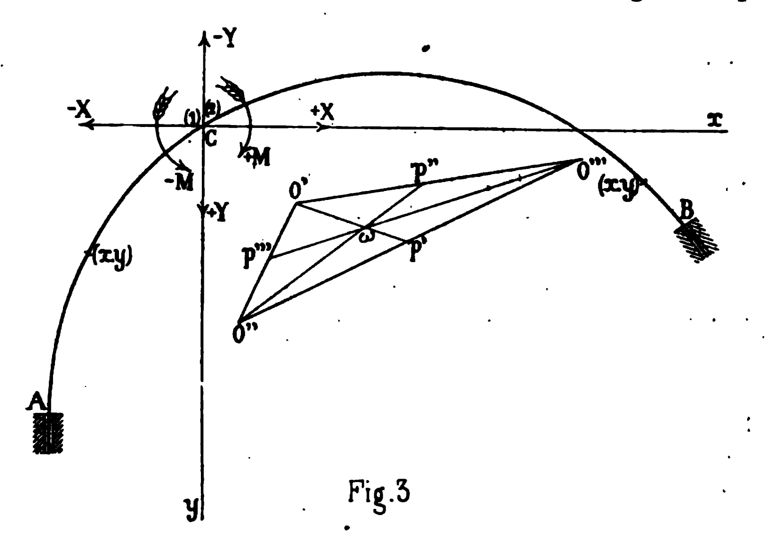


Fig.3

X et Y les composantes suivant deux directions rectangulaires Cx et Cy arbitrairement choisies.

Ce sont les trois quantités M,X et Y que nous nous proposons de déterminer.

Imaginons qu'on coupe l'arc suivant la section C : les deux tronçons AC, BC vont se déformer et leurs extrémités respectives (1) et (2) ne resteront pas en contact. Si maintenant nous appliquons 1° à l'extrémité (1) du tronçon AC un couple + M et des forces + X et + Y, 2° à l'extrémité (2) du tronçon BC un couple — M et des forces — X et — Y, ces six efforts agissant, en tant que forces extérieures, sur les deux tronçons, auront pour effet de ramener en coïncidence les extrémités (1) et (2) et, par suite, de rendre à l'arc la forme qu'il affectait avant la coupure.

De là résulte la méthode suivante pour la détermination de M, X et Y : on coupera l'arc en C, puis on calculera les déplacements linéaires et angulaires *absolus* des extrémités (1) et (2) des tronçons ainsi formés, sous l'action des forces extérieures données, et on en déduira les déplacements *relatifs* de ces extrémités. Cela fait, on appliquera 1° à l'extrémité (1), des efforts inconnus + M, + X et + Y, 2° à l'extrémité (2), des efforts — M, — X et — Y, égaux et contraires aux premiers. Enfin, on déterminera ces efforts en expri-

mant que les déplacements linéaire et angulaire relatifs par eux imprimés aux extrémités (1) et (2), sont égaux et contraires à ceux produits par les forces extérieures.

Soient :

g'_1 $(l'_x)_1$, $(l'_y)_1$ le déplacement angulaire absolu et les déplacements linéaires absolus en projection sur Cx et sur Cy, imprimés à la section (1) par celles des forces extérieures qui agissent sur le tronçon A (1) supposé séparé du reste de l'arc ;

g'_2, $(l'_x)_2$, $(l'_y)_2$, les déplacements similaires de la section (2), produits par celles des forces extérieures qui agissent sur le tronçon B (2).

Les déplacements, sous l'action des forces extérieures, de l'extrémité (2) *relativement* à l'extrémité (1), ont pour valeurs :

$$g'_2 - g'_1 ; \qquad (l'_x)_2 - (l'_x)_1 ; \qquad (l'_y) - (l'_y)_1 .$$

Soient de même :

g''_1, $(l''_x)_1$, $(l''_y)_1$ le déplacement angulaire absolu et les déplacements linéaires absolus estimés suivant Cx et Cy, qu'imprimeraient à l'extrémité (1) les efforts $+ M$, $+ X$, $+ Y$, agissant seuls sur le tronçon A (1) supposé détaché du reste de la poutre ;

g''_2, $(l''_x)_2$, $(l''_y)_2$ les déplacements similaires qu'imprimeraient, à l'extrémité (2) du tronçon B (2), les efforts $- M$, $- X$, $- Y$, y appliqués.

Les déplacements, sous l'action simultanée de $+ M$, $+ X$, $+ Y$, $- M$, $- X$, $- Y$, de l'extrémité (2) *relativement* à celle (1), ont pour valeurs :

$$g''_2 - g''_1 ; \qquad (l''_x)_2 - (l''_x)_1 ; \qquad (l''_y)_2 - (l''_y)_1 .$$

D'après ce qui a été dit précédemment, on doit poser :

$$(a) \qquad \left\{ \begin{array}{l} g'_2 - g'_1 + g''_2 - g''_1 = 0, \\ (l'_x)_2 - (l'_x)_1 + (l''_x)_2 - (l''_x)_1 = 0, \\ (l'_y)_2 - (l'_y)_1 + (l''_y)_2 - (l''_y)_1 = 0. \end{array} \right.$$

Les déplacements entrant dans les équations (*a*) sont directement calculables par les formules données au théorème du § 33. Si, d'une manière générale, on désigne par M' les moments fléchissants produits par les forces extérieures données, dans les deux tronçons A(1) et B(2) supposés indépendants l'un de l'autre, et par

M'' les moments fléchissants produits, soit dans le tronçon A (1) par les efforts $+$ M, $+$ X, $+$ Y agissant seuls, soit dans le tronçon B (2) par les efforts — M, — X, — Y agissant seuls, on a :

$$g'_1 = \int_C^{C.A} \frac{M'}{EI} ds \,; \quad (l'_x)_1 = -\int_C^{C.A} MX \frac{M'}{EI} ds \,; \quad (l'_y)_1 = -\int_C^{C.A} MY \frac{M'}{EI} ds \,;$$

$$g'_2 = -\int_C^{C.B} \frac{M'}{EI} ds \,; \quad (l'_x)_2 = +\int_C^{C.B} MX \frac{M'}{EI} ds \,; \quad (l'_y)_2 = +\int_C^{C.B} MY \frac{M'}{EI} ds.$$

D'où :

$$(b) \left\{ \begin{array}{l} g'_2 - g'_1 = -\int_C^{A.B} \frac{M'}{EI} ds \,; \quad (l'_x)_2 - (l'_x)_1 = \int_C^{A.B} MX \frac{M'}{EI} ds \,; \\ (l'_y)_2 - (l'_y)_1 = \int_C^{A.B} MY \frac{M'}{EI} ds \,; \end{array} \right.$$

et l'on trouverait de même :

$$(c) \left\{ \begin{array}{l} g''_2 - g''_1 = -\int_C^{A.B} \frac{M''}{EI} ds \,; \quad (l''_x) - (l''_x)_1 = \int_C^{A.B} MX \frac{M''}{EI} ds \,; \\ (l''_y)_2 - (l''_y)_1 = \int_C^{A.B} MY \frac{M''}{EI} ds. \end{array} \right.$$

Or, le moment fléchissant produit en un point quelconque (xy) du tronçon A (1), par les efforts $+$ M, $+$ X, $+$ Y appliqués en (1), a pour valeur

$$M + Xy - Yx,$$

et le moment fléchissant développé en tout point (xy) du tronçon B (2), par les efforts — M, — X, — Y appliqués en (2), conserve la même expression.

On a donc, tout le long de l'arc AB,

$$M'' = M + Xy - Yx.$$

Substituant cette valeur de M'' dans les formules (c), il vient :

$$(c') \left\{ \begin{array}{l} g''_2 - g''_1 = -\int_C^{A.B} \frac{M}{EI} ds - \int_C^{A.B} \frac{Xy}{EI} ds + \int_C^{A.B} \frac{Yx}{EI} ds \,; \\ (l''_x)_2 - (l''_x)_1 = \int_C^{A.B} MX \frac{M}{EI} ds + \int_C^{A.B} MX \frac{Xy}{EI} ds - \int_C^{A.B} MX \frac{Yx}{EI} ds \,; \\ (l''_y)_2 - (l''_y)_1 = \int_C^{A.B} MY \frac{M}{EI} ds + \int_C^{A.B} MY \frac{Xy}{EI} ds - \int_C^{A.B} MY \frac{Yx}{EI} ds. \end{array} \right.$$

Dès lors, les équations (a) deviennent à cause de (b) et de (c'), en supprimant le facteur constant $\frac{1}{E}$:

$$
(a')\left\{
\begin{aligned}
&\mathop{T}\limits_{C}^{A.B}\frac{M'}{I}ds+\mathop{T}\limits_{C}^{A.B}\frac{M}{I}ds+\mathop{T}\limits_{C}^{A.B}\frac{Xy}{I}ds-\mathop{T}\limits_{C}^{A.B}\frac{Yx}{I}ds=0\,;\\
&\mathop{MX}\limits_{C}^{A.B}\frac{M'}{I}ds+\mathop{MX}\limits_{C}^{A.B}\frac{M}{I}ds+\mathop{MX}\limits_{C}^{A.B}\frac{Xy}{I}ds-\mathop{MX}\limits_{C}^{A.B}\frac{Yx}{I}ds=0\,;\\
&\mathop{MY}\limits_{C}^{A.B}\frac{M'}{I}ds+\mathop{MY}\limits_{C}^{A.B}\frac{M}{I}ds+\mathop{MY}\limits_{C}^{A.B}\frac{Xy}{I}ds-\mathop{MY}\limits_{C}^{A.B}\frac{Yx}{I}ds=0.
\end{aligned}
\right.
$$

Ces équations expriment :

La première, que la somme algébrique des efforts fictifs parallèles $\frac{M'}{I}ds$, $\frac{M}{I}ds$, $\frac{Xy}{I}ds$, $-\frac{Yx}{I}ds$, est nulle ;

La seconde, que si l'on donne à ces efforts une direction commune parallèle à Cx, la somme de leurs moments par rapport au point C est nulle ;

La troisième, que si on leur donne une direction parallèle à Cy, la somme de leurs moments par rapport à C est nulle.

Il s'ensuit que ces forces fictives sont en équilibre *astatique*.

Il en est de même de leurs résultantes respectives, que nous désignerons par S, F′, F″, F‴, et qui ont pour valeurs :

$$
(d)\left\{
\begin{aligned}
&S=\int_A^B\frac{M'}{I}ds, \qquad F'=M\int_A^B\frac{ds}{I}=\left(\frac{M}{b}\right)\varphi',\\
&F''=X\int_A^B\frac{y}{I}ds=X\varphi'', \qquad F'''=-Y\int_A^B\frac{x}{I}ds=-Y\varphi''',
\end{aligned}
\right.
$$

en posant

$$
(e)\qquad \varphi'=\int_A^B\frac{b\,ds}{I}, \qquad \varphi''=\int_A^B\frac{y}{I}ds, \qquad \varphi'''=\int_A^B\frac{x}{I}ds,
$$

et en désignant par b une longueur arbitrairement choisie, dont l'introduction n'a d'autre but que de mettre en évidence, dans l'expression de F′, le quotient $\left(\frac{M}{b}\right)$ qui représente une force, au lieu de la quantité M qui est un moment.

Les points d'application des trois dernières résultantes F', F'', F''', sont respectivement les centres des forces fictives parallèles suivantes, réparties tout le long de l'arc : 1° $\frac{M}{I} ds$, 2° $\frac{Xy}{I} ds$, 3° $\frac{Yx}{I} ds$; ou, ce qui revient au même, des forces fictives suivantes : 1° $\frac{b}{I} ds$, 2° $\frac{y}{I} ds$, 3° $\frac{x}{I} ds$, qui sont proportionnelles aux premières.

Soient o', o'', o''', ces centres (*fig. 3*, p. 435).

Leur position est indépendante des forces extérieures agissant sur l'arc.

Le centre o' reste fixe, quelle que soit la section C que l'on considère, puisque les forces fictives $\frac{b}{I} ds$, auxquelles il correspond, ne dépendent ni d'x ni d'y. Nous l'appellerons ***centre fixe de la travée.***

Les centres o'' et o''' varient de position lorsqu'on considère des sections C différentes, puisque les valeurs $\frac{y}{I} ds$, $\frac{x}{I} ds$ des forces fictives y relatives contiennent x et y. Nous les appellerons ***centres correspondants à la section*** C.

Quant au point d'application ω de la résultante S, qui est le centre des efforts fictifs parallèles $\frac{M'}{I} ds$, sa position dépend essentiellement des forces extérieures appliquées à l'arc, puisque M' est fonction desdites forces extérieures. Nous l'appellerons ***centre variable.***

Supposons qu'on ait déterminé, ainsi que nous l'indiquerons plus loin :

1° La position des centres o', o'', o''' et les valeurs des intégrales φ', φ'' et φ''', éléments indépendants des forces extérieures et constants pour un arc et une section C donnés ;

2° La position du centre variable ω et la valeur de la résultante fictive S, éléments dépendants des forces extérieures.

Les résultantes fictives F', F'', F''', inconnues d'intensité, mais appliquées aux centres o', o'', o''', connus, et la résultante fictive S, connue d'intensité et appliquée au centre variable ω, également connu, sont en équilibre astatique, comme il a été dit plus haut.

Joignons le centre variable ω aux centres o', o'' et o''';

soient p', p'', p''' les points d'intersection de ces lignes avec les côtés du triangle $o' o'' o'''$, respectivement opposés aux sommets o', o'' et o'''. On a, en vertu de la condition d'équilibre sus-indiquée,

$$\begin{aligned} &S \times p'\omega + F' \times p'o' = 0, \\ &S \times p''\omega + F'' \times p''o'' = 0, \\ &S \times p'''\omega + F''' \times p'''o''' = 0; \end{aligned} \quad \text{d'où} \quad \left\{ \begin{aligned} F' &= -S \frac{p'\omega}{p'o'}, \\ F'' &= -S \frac{p''\omega}{p''o''}, \\ F''' &= -S \frac{p'''\omega}{p'''o'''}; \end{aligned} \right.$$

et, à cause des trois dernières relations (d),

$$(1) \qquad \left\{ \begin{aligned} \frac{M}{b} &= -\frac{1}{\varphi'} \times \frac{p'\omega}{p'o'}\, S, \\ X &= -\frac{1}{\varphi''} \times \frac{p''\omega}{p''o''}\, S, \\ Y &= +\frac{1}{\varphi'''} \times \frac{p'''\omega}{p'''o'''}\, S. \end{aligned} \right.$$

Ces expressions font connaître les quantités cherchées M, X et Y.

§ 38. — Constructions auxquelles donne lieu l'application de la méthode.

Construction des centres o', o'', o''' et des intégrales φ', φ'' et φ'''. — Le *centre fixe* o' de la travée est le centre des forces fictives parallèles $\left(\frac{b}{I}\, ds\right)$, appliquées à chaque élément ds de la ligne moyenne de l'arc; on le déterminera donc par les règles de la composition des forces parallèles; voici comment :

Divisons la ligne moyenne en un certain nombre de parties égales de longueur Δs (*fig. 4*). Pour la recherche qui nous occupe, les forces infiniment petites $\left(\frac{b}{I}\, ds\right)$ peuvent être approximativement remplacées par des forces finies égales à $\left(\frac{b}{I}\, \Delta s\right)$, appliquées aux milieux des éléments Δs.

Soient, comme au § 36, n un nombre quelconque et I_m le moment d'inertie d'une section arbitrairement choisie de l'arc.

Les quantités n, I_m et Δs étant des constantes, on peut remplacer les forces fictives $\left(\frac{b}{l}\,\Delta s\right)$ par des forces égales à

$$\left(\frac{b}{l}\,\Delta s\right)\times\frac{\frac{1}{n}\,I_m}{\Delta s}=b\,\frac{\frac{1}{n}\,I_m}{l}$$

et qui leur sont proportionnelles.

Cela posé, traçons le polygone ab de ces forces considérées d'abord comme parallèles à l'axe des y; puis par un pôle P, de distance polaire B arbitrairement choisie, menons les rayons du

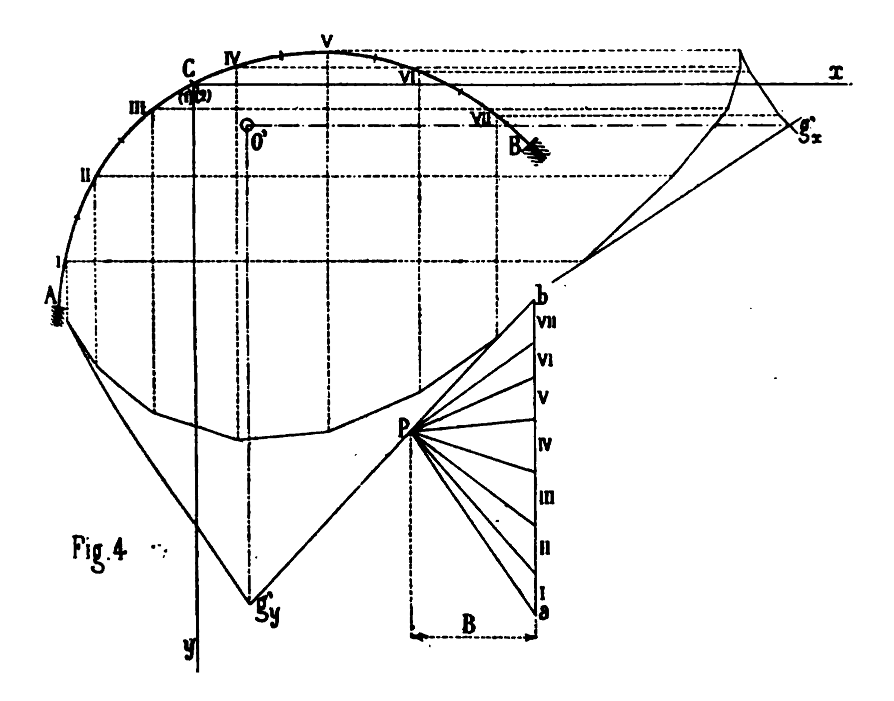


Fig. 4

polygone des forces; enfin, traçons le polygone funiculaire correspondant et prolongeons en les côtés extrêmes jusqu'à leur point d'intersection g'_y.

En vertu d'une propriété connue, la parallèle à l'axe des y, menée par ce point, passe par le centre des forces parallèles considérées, c'est-à-dire par le centre fixe o' de la travée.

Si maintenant on fait tourner toutes ces forces de 90° autour de leurs points d'application respectifs, de manière à les amener à être parallèles à l'axe des x, et qu'on trace le nouveau polygone

funiculaire correspondant (*), puis qu'enfin on mène une parallèle à l'axe des x par le point d'intersection g'_s des côtés extrêmes de ce polygone funiculaire, le point de concours de cette droite et de la parallèle à l'axe des y précédemment déterminée est le centre fixe o' cherché.

La longueur totale du polygone des forces $b\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, c'est-à-dire de la droite ab, représente, à l'échelle des longueurs, la quantité suivante, que nous désignerons par Φ' :

$$\Phi' = \sum_A^B b\frac{\frac{1}{n}I_m}{I} = \frac{I_m}{n\Delta s}\sum_A^B \frac{b}{I}\Delta s,$$

ou, à la substitution près des efforts fictifs infiniment petits $\frac{b}{I}\,ds$ aux efforts élémentaires $\frac{b}{I}\,\Delta s$,

$$(2) \qquad \Phi' = \frac{I_m}{n\Delta s}\int_A^B \frac{b}{I}\,ds = \frac{I_m}{n\Delta s}\varphi',$$

d'où l'on pourrait tirer φ'; mais il est inutile de dégager cette quantité, ainsi que nous le verrons plus loin.

Les centres o'' et o''' correspondants à la section C et les quantités φ'' et φ''' se déterminent de la même manière que le centre fixe o' et que la quantité φ'. Les forces fictives parallèles à faire intervenir dans les épures ont respectivement pour valeurs

$$y\frac{\frac{1}{n}I_m}{I} \quad \text{et} \quad x\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$$

Les longueurs totales des polygones de ces forces représentent, à l'échelle des longueurs, les quantités suivantes, que nous désignerons par Φ'' et Φ''' :

$$(3) \qquad \Phi'' = \frac{I_m}{n\Delta s}\int_A^B \frac{y}{I}\,ds = \frac{I_m}{n\Delta s}\varphi'',$$

(*) Il faut observer que les côtés de ce polygone funiculaire sont respectivement perpendiculaires à ceux de mêmes rangs du polygone funiculaire précédemment déterminé; on utilisera cette remarque pour le construire, ce qui évitera le tracé d'un nouveau polygone des forces.

$$(4)\qquad \Phi''' = \frac{I_m}{n\Delta s}\int_A^B \frac{x}{I}\,ds = \frac{I_m}{n\Delta s}\;\varphi'''.$$

Remarque. — Telle que nous venons de l'indiquer, la détermination des centres o', o'', o''' exige, dans le cas le plus complexe où l'arc n'a pas d'axe de symétrie, la construction de six polygones funiculaires. On peut éviter le tracé d'un de ces polygones.

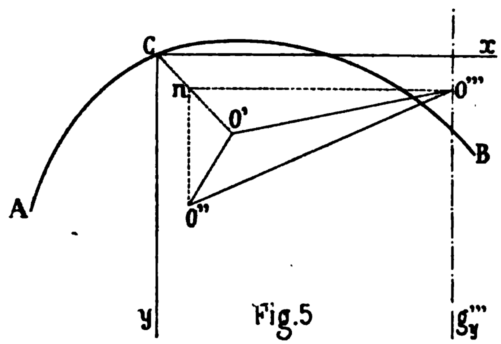


Fig. 5

En effet, supposons qu'on ait déterminé, au moyen de cinq polygones funiculaires, les centres o' et o'' et la parallèle g^y à l'axe des y sur laquelle doit se trouver le centre o''' (*fig. 5*).

Soient (c', d'), (c'', d''), (c''', d''') les coordonnées des centres o', o'', o''' par rapport aux axes Cx et Cy. Le théorème des moments appliqué aux forces fictives parallèles donne

$$c'' = \frac{\displaystyle\int_A^B \frac{yds}{I}\,x}{\displaystyle\int_A^B \frac{yds}{I}} = \frac{\displaystyle\int_A^B \frac{xy}{I}\,ds}{d'\displaystyle\int_A^B \frac{ds}{I}},\qquad d''' = \frac{\displaystyle\int_A^B \frac{xds}{I}\,y}{\displaystyle\int_A^B \frac{xds}{I}} = \frac{\displaystyle\int_A^B \frac{xy}{I}\,ds}{c'\displaystyle\int_A^B \frac{ds}{I}};$$

d'où

$$\frac{c''}{d'''} = \frac{c'}{d'}.$$

Cette relation conduit à la construction suivante : joindre $o'C$, mener par o'' une parallèle $o''n$ à Cy ; par l'intersection n de cette parallèle avec $o'C$, mener à Cx une parallèle qui coupe la droite g_y''' au centre o''' cherché.

Construction du centre variable ω et de l'intégrale $S = \displaystyle\int_A^B \frac{M'}{I}\,ds$.

On commencera par chercher les valeurs des moments fléchissants M' que les forces extérieures données produiraient dans les deux tronçons A (1), B (2) de l'arc supposé coupé suivant la sec-

tion C, c'est-à-dire au point (1, 2). Ces moments sont statiquement déterminés, puisque chaque tronçon n'est assujetti à aucune liaison surabondante. On les obtiendra donc facilement, soit par un calcul simple, soit par un tracé d'ailleurs connu (*).

Ceci fait, la construction du centre variable ω s'effectuera absolument comme celle des centres o', o'' et o'''; les forces fictives parallèles à considérer dans l'épure sont égales à $M' \dfrac{\frac{1}{n} I_m}{I}$.

La longueur totale du polygone correspondant à ces forces représente la quantité suivante que nous désignerons par Σ :

$$(5) \qquad \Sigma = \frac{I_m}{n\Delta s} \int_A^B \frac{M'}{I} ds = \frac{I_m}{n\Delta s} S.$$

Détermination des inconnues $\dfrac{M}{b}$, X et Y. — Dans les équations (1) (page 440) remplaçons φ', φ'', φ''' et S par les quantités Φ', Φ'', Φ''' et Σ qui, en vertu des formules (2), (3), (4) et (5), leur sont proportionnelles; il vient :

$$(1\ bis) \qquad \left\{ \begin{aligned} \frac{M}{b} &= -\frac{p'\omega}{p'o'} \times \frac{\Sigma}{\Phi'}, \\ X &= -\frac{p''\omega}{p''o''} \times \frac{\Sigma}{\Phi''}, \\ Y &= +\frac{p'''\omega}{p'''o'''} \times \frac{\Sigma}{\Phi'''}. \end{aligned} \right.$$

Φ', Φ'', Φ''' étant, d'après ce qui précède, des sommes de quantités de la forme $b \dfrac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, $y \dfrac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, $x \dfrac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, doivent être regardés comme des *longueurs*, puisque b, y, x sont également des *longueurs* et que les éléments $\dfrac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ sont des *rapports sans dimension*.

(*) Si, dans ce tracé qui, dans le cas où les forces extérieures données sont parallèles, consiste en la construction d'un polygone funiculaire correspondant à ces forces, on prend pour distance polaire une longueur égale sur l'épure à $\bar{A}$ mètres, pour échelle des forces une fraction $\frac{1}{f}$ et pour échelle des longueurs une fraction $\frac{1}{l}$, on obtient les moments M' à l'échelle $\frac{1}{m} = \frac{1}{\bar{A}fl}$.

C'est donc à l'échelle des longueurs qu'on devra lire sur l'épure les grandeurs des droites qui représentent Φ′, Φ″ et Φ‴.

De même, Σ étant la somme des quantités $M' \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ doit être considéré comme un *moment*, puisque les M′ sont également des *moments*. C'est donc à l'échelle des moments qu'on devra lire sur l'épure la grandeur de la droite qui représente Σ.

Quant à $p'\omega$, $p''\omega$, $p'''\omega$, $p'o'$, $p''o''$, $p'''o'''$, ce sont des longueurs qu'on relèvera comme telles sur l'épure.

Après avoir lu sur les épures toutes les quantités dont nous venons de parler, il suffira de les substituer dans les formules (1 *bis*) pour obtenir les inconnues cherchées.

Une fois M, X et Y connus, les moments fléchissants, les tensions longitudinales et les efforts tranchants produits par les forces extérieures données, dans l'arc encastré à ses deux extrémités, se détermineront en fonction de ces forces et des quantités M, X et Y, par les seuls procédés de la statique. Il n'y a pas lieu d'insister sur ce point.

§ 39.—Détermination directe du moment fléchissant, de la tension longitudinale et de l'effort tranchant en une section arbitrairement choisie.

On remarquera qu'on est absolument maître de la direction à donner aux deux axes rectangulaires Cx et Cy, auxquels on doit rapporter la ligne moyenne de l'arc. On peut, en particulier, mener Cx tangentiellement à la ligne moyenne au point C et Cy normalement.

Dans ce cas, les composantes X et Y deviennent, la première, la tension longitudinale, la seconde, l'effort tranchant en C.

La méthode que nous venons d'exposer fournit donc le moyen de déterminer *directement* le moment fléchissant, la tension longitudinale et l'effort tranchant produits dans une section arbitrairement choisie de l'arc, par des forces quelconques situées dans le plan de la ligne moyenne.

§ 40. — Détermination directe des réactions aux encastrements.

La méthode indiquée plus haut s'applique à n'importe quelle section de l'arc; si on choisit, par exemple, l'une des sections

encastrées A ou B, on obtiendra directement le moment d'encastrement et les composantes, suivant telles directions rectangulaires qu'on voudra, de la réaction totale de l'encastrement.

DEUXIÈME SECTION

Charges mobiles. — Lignes d'influence.

§ 41. — Indications préliminaires.

La détermination des effets produits par le passage d'un convoi, sur une construction quelconque, se ramène au tracé de certaines lignes, dites *lignes d'influence*, et dont la définition ressort des indications suivantes.

Considérons, par exemple, un arc AB de forme quelconque, encastré ou articulé à ses extrémités (*fig. 6*). Une charge P le par-

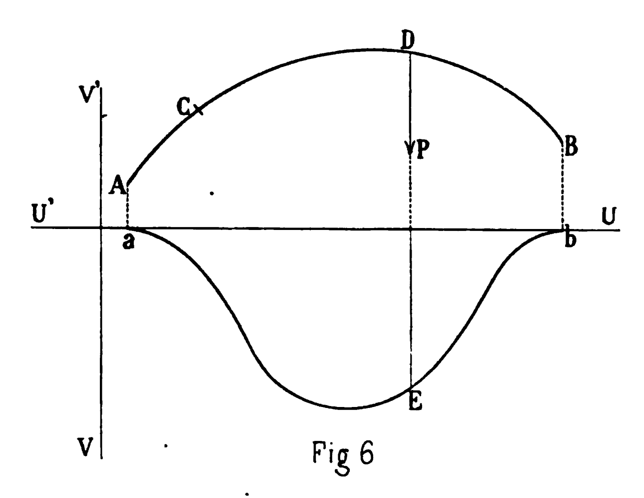


Fig 6

court. A toute position D de cette charge correspond une valeur déterminée de la poussée ; portons-la en ordonnée sur la verticale du point D, à partir d'une horizontale quelconque UU', prise pour axe des abscisses ; soit E l'extrémité de cette ordonnée : le lieu des points E est la *ligne d'influence de la poussée*.

De même, à chaque position de la charge mobile répondent, en une section C arbitrairement choisie, des valeurs déterminées du moment fléchissant M et des composantes X et Y de la résultante de translation des efforts intérieurs en cette section ; si on porte ces valeurs en ordonnées, ainsi que nous venons de l'indiquer

pour la poussée, on obtient trois points dont les lieux sont respectivement les lignes d'influence des quantités M, X et Y, afférentes à la section C.

Nous exposerons dans ce chapitre une méthode de construction des lignes d'influence relatives aux arcs encastrés aux naissances, lignes qu'on utilisera conformément aux règles générales indiquées par M. Maurice Lévy (*Statique graphique*, IIe partie, page 39), pour la détermination des effets produits par le passage d'un convoi quelconque donné.

§ 42. — Expressions nouvelles du moment fléchissant M et des composantes X et Y de la résultante de translation des forces intérieures développées en une section C arbitrairement choisie.

Dans les équations (a) du § 37, effectuons les substitutions qu'autorisent les formules (c') du même paragraphe, et chassons le dénominateur constant E ; il vient :

$$(f)\left\{\begin{aligned}
&\mathop{T}\limits_{C}^{A.B}\frac{M}{I}ds+\mathop{T}\limits_{C}^{A.B}\frac{Xy}{I}ds+\mathop{T}\limits_{C}^{A.B}\left(-\frac{Yx}{I}ds\right)-E\,(g'_2-g'_1)=0,\\
&\mathop{\mathcal{M}X}\limits_{C}^{A.B}\frac{M}{I}ds+\mathop{\mathcal{M}X}\limits_{C}^{A.B}\frac{Xy}{I}ds+\mathop{\mathcal{M}X}\limits_{C}^{A.B}\left(-\frac{Yx}{I}ds\right)+E\left[(l'_x)_2-(l'_x)_1\right]=0,\\
&\mathop{\mathcal{M}Y}\limits_{C}^{A.B}\frac{M}{I}ds+\mathop{\mathcal{M}Y}\limits_{C}^{A.B}\frac{Xy}{I}ds+\mathop{\mathcal{M}Y}\limits_{C}^{A.B}\left(-\frac{Yx}{I}ds\right)+E\left[(l'_y)_2-(l'_y)_1\right]=0.
\end{aligned}\right.$$

Les trois premiers termes de la première des équations précédentes représentent la somme algébrique des forces parallèles $\frac{M}{I}ds$, $\frac{Xy}{I}ds$ et $-\frac{Yx}{I}ds$, appliquées tout le long de l'arc.

Les trois premiers termes de la seconde équation représentent la somme des moments, par rapport au point C (*fig. 3*, p. 435), de ces mêmes forces, supposées dirigées parallèlement à l'axe Cx et dans le sens de C vers x ou en sens contraire, suivant qu'elles sont positives ou négatives.

Les trois premiers termes de la troisième équation représentent la somme des moments par rapport à C desdites forces, supposées dirigées parallèlement à l'axe Cy et dans le sens positif ou dans le sens négatif de cet axe, suivant qu'elles sont positives ou négatives.

Nous avons désigné au § 37 par F', F'', F''' les intensités des

résultantes respectives des forces fictives $\frac{M}{I}ds$, $\frac{Xy}{I}ds$, $-\frac{Yx}{I}ds$, et nous avons appelé *centres* les points d'application o', o'', o''' de ces résultantes.

Soient (c',d'), (c'',d''), (c''',d''') les coordonnées de ces centres par rapport aux axes Cx et Cy.

En remplaçant dans les équations (f), les forces fictives et leurs moments, en fonction de leurs résultantes et des moments de ces résultantes, on obtient

$$(g)\qquad \left\{\begin{aligned} &F' + F'' + F''' = +E(g'_2 - g'_1),\\ &d'F' + d''F'' + d'''F''' = +E\left[(l'_x)_2 - (l'_x)_1\right],\\ &c'F' + c''F'' + c'''F''' = -E\left[(l'_y)_2 - (l'_y)_1\right].\end{aligned}\right.$$

Résolvant en F', F'' et F''', il vient

$$(h)\left\{\begin{aligned} F' &= \frac{-E\left[(l'_x)_2-(l'_x)_1\right](c''-c''')+E\left[(l'_y)_2-(l'_y)_1\right](d'''-d'')+E(g'_2-g'_1)(c''d'''-c'''d'')}{\Delta}\\ F'' &= \frac{-E\left[(l'_x)_2-(l'_x)_1\right](c'''-c')+E\left[(l'_y)_2-(l'_y)_1\right](d'-d''')+E(g'_2-g'_1)(c'''d'-c'd''')}{\Delta}\\ F''' &= \frac{-E\left[(l'_x)_2-(l'_x)_1\right](c'-c'')+E\left[(l'_y)_2-(l'_y)_1\right](d''-d')+E(g'_2-g'_1)(c'd''-c''d')}{\Delta}\end{aligned}\right.$$

Le dénominateur commun Δ de ces formules a pour expression

$$(i)\qquad \Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1\\ c' & c'' & c'''\\ d' & d'' & d'''\end{vmatrix} = c'\,d'' + c''\,d''' + c'''\,d' - c'\,d''' - c''\,d' - c'''\,d''.$$

Or, on vérifie aisément, par des considérations géométriques, que

$$(j)\qquad \Delta = \pm 2 \times \text{Surface } o'\,o''\,o'''.$$

Le signe $+$ correspond au cas où les points o' o'' o''' sont tellement disposés que le sens du cheminement o' o'' o''' soit celui de la rotation des aiguilles d'une montre (*fig.* 7), et le signe $-$ correspond au cas contraire (*fig.* 8).

Par les points o', o'', o''', menons des parallèles à l'axe des y jusqu'à leurs intersections q', q'', q''', avec les côtés opposés du triangle o', o'', o''', prolongés s'il est nécessaire.

Une quelconque de ces parallèles sera considérée comme positive lorsqu'un mobile la parcourant de l'extrémité portant la lettre o à celle portant la lettre q, se dirigera dans le sens des y

positifs, et comme négative lorsque ce mobile se dirigera dans le sens des y négatifs.

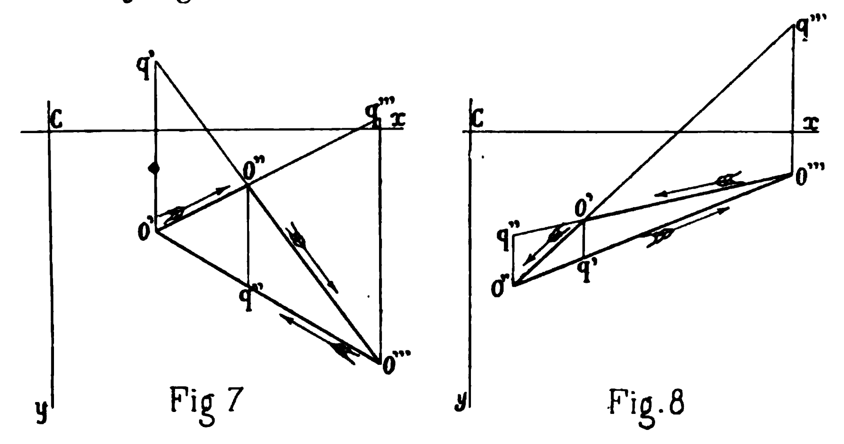


Fig 7   Fig. 8

L'examen des figures (7) et (8) montre immédiatement qu'eu égard à la convention qui précède, on a

$$(k)\quad \begin{cases} 2\times \text{surface } o'o''o''' = \pm(c''-c''')\times o'q' = \pm(c'''-c')\times o''q'' \\ \qquad = \pm(c'-c'')\times o'''q''', \end{cases}$$

les signes $+$ correspondant au cas où les points $o'o''o'''$ sont situés de telle manière que le sens du cheminement $o'o''o'''$ soit celui des aiguilles d'une montre, et les signes — correspondant au cas contraire.

En rapprochant les égalités (j) et (k), il vient

$$(l)\quad \Delta = (c''-c''')\times o'q' = (c'''-c')\times o''q'' = (c'-c'')\times o'''q''',$$

quel que soit le sens du cheminement $o'o''o'''$.

Substituons ces expressions de Δ dans les formules (h) et remplaçons en même temps F′, F″ et F‴ par leurs valeurs données par les relations (d) du § 37; nous obtenons après réductions

$$(6)\quad \begin{cases} (o'q')\rho'\dfrac{M}{b} = -E\left[(l'_x)_2-(l'_x)_1\right]+\dfrac{d'''-d''}{c''-c'''}E\left[(l'_y)_2-(l'_y)_1\right]+\dfrac{c''d'''-c'''d''}{c''-c'''}E\left[g'_2-g'_1\right], \\ (o''q'')\rho''X = -E\left[(l'_x)_2-(l'_x)_1\right]+\dfrac{d'-d'''}{c'''-c'}E\left[(l'_y)_2-(l'_y)_1\right]+\dfrac{c'''d'-c'd'''}{c'''-c'}E\left[g'_2-g'_1\right], \\ -(o'''q''')\rho'''Y = -E\left[(l'_x)_2-(l'_x)_1\right]+\dfrac{d''-d'}{c'-c''}E\left[(l'_y)_2-(l'_y)_1\right]+\dfrac{c'd''-c''d'}{c'-c''}E\left[g'_2-g'_1\right]. \end{cases}$$

Ces formules font connaitre les valeurs du moment fléchissant M et des composantes X et Y, suivant deux directions rectangulaires arbitrairement choisies, de la résultante des forces intérieures en la section C, en fonction des constantes de l'arc et des

déplacements que prendraient, sous l'action des forces extérieures données, les sections extrêmes (1) et (2) des tronçons A (1) et B (2) de l'arc supposé coupé en C.

On remarquera que les équations (6) restent exactes lorsque les déplacements précités sont le résultat de dilatations ou de contractions produites par des variations de température.

§ 43. — Expressions du moment fléchissant et des composantes horizontale et verticale de la résultante de translation des efforts intérieurs produits en une section donnée de l'arc, par le passage d'une charge mobile. — Les efforts fictifs $\frac{y-z'}{I}\,ds$, $\frac{y-z''}{I}\,ds$, $\frac{y-z'''}{I}\,ds$. — Théorème relatif aux lignes d'influence.

Soit P la charge mobile; nous nous proposons de déterminer le moment fléchissant M et les composantes horizontale et verticale X et Y de la résultante des efforts intérieurs développés par la charge P, en une section C arbitrairement choisie (*fig.* 9).

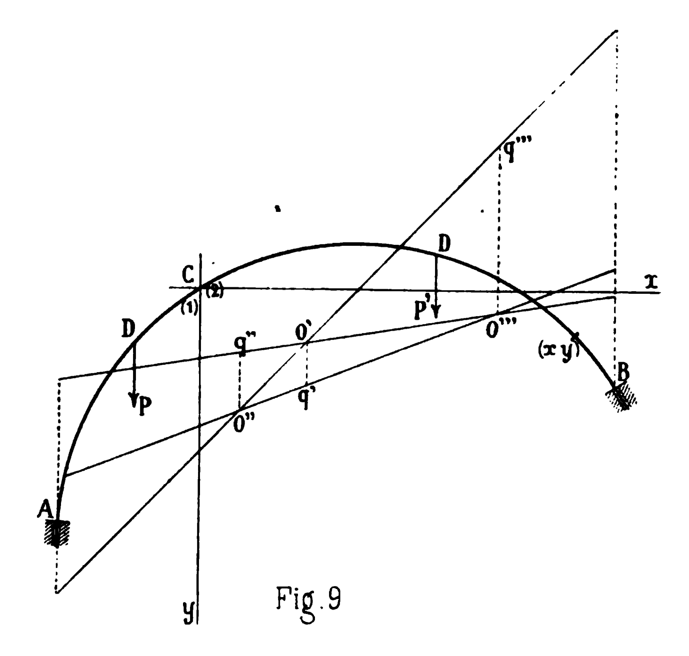


Fig. 9

Les directions attribuées aux composantes X et Y imposent celles des axes Cx et Cy auxquels il convient, comme précédemment, de rapporter la ligne moyenne de l'arc : Cx sera donc horizontal et Cy vertical.

Appliquons à la détermination de M, X et Y les formules finales (6) du § 42.

A cet effet, calculons les termes inconnus $(l'_x)_1$ $(l'_x)_2$ ..... g'_2 des seconds membres, c'est-à-dire les déplacements linéaires et angulaires absolus que les forces extérieures, qui se réduisent ici au poids mobile, imprimeraient aux sections (1) et (2) des tronçons A (1) et B (2) de l'arc supposé coupé en C.

Il y a lieu de distinguer suivant que la charge mobile se trouve sur le tronçon B (2) ou, au contraire, sur le tronçon A (1).

1° *La charge mobile se trouve sur le tronçon* B (2).

Soit, à un instant donné, D le point d'application de la charge mobile P sur le tronçon considéré.

Le tronçon A (1) ne supportant aucune charge n'est pas déformé, en sorte que

(a) $$(l'_x)_1=0, \quad (l'_y)_1=0, \quad g'_1=0.$$

Il reste à calculer $(l'_x)_2$, $(l'_y)_2$ et g'_2, déplacements linéaires et angulaire produits en (2) par le poids P appliqué en D, et que nous représenterons aussi par $(l_x)^D_2$, $(l_y)^D_2$ et g^D_2, pour rentrer dans un système de notations déjà usité (1[re] partie).

En vertu du premier théorème de réciprocité (§ 6), le déplacement horizontal $(l_x)^D_2$, produit en (2) par la charge P appliquée en D, est égal au déplacement vertical $(l_y)^2_D$ qu'imprimerait au point D une force horizontale égale à $+$P, appliquée à l'extrémité (2) du tronçon B (2); c'est-à-dire que

$$(l'_x)_2=(l_x)^D_2=(l_y)^2_D.$$

Or, cette force horizontale $+$ P développerait, en chaque point (xy) du tronçon B (2), ou BC, un moment fléchissant égal à $-$ Py. Par conséquent, on a, d'après la formule (IV) du § 33,

$$(l_y)^2_D=\mathop{\mathcal{M}}_{D}^{D.B} Y\frac{-Py}{EI}ds=-\frac{P}{E}\mathop{\mathcal{M}}_{D}^{D.B} Y\frac{y}{I}ds.$$

Donc finalement

(b) $$(l'_x)_2=-\frac{P}{E}\mathop{\mathcal{M}}_{D}^{D.B} Y\frac{y}{I}ds.$$

De même, et toujours en vertu du premier théorème de réciprocité, le déplacement vertical $(l_y)^D_2$, produit en (2) par la charge

P appliquée en D, est égal au déplacement vertical $(l_y)^2_D$ qu'imprimerait au point D une force verticale $+$ P, appliquée à l'extrémité (2) du tronçon B (2); c'est-à-dire que

$$(l'_y)_2 = (l_y)^D_2 = (l_y)^2_D.$$

Or, cette force verticale $+$ P développerait, en chaque point (xy) du tronçon B (2), ou BC, un moment fléchissant égal à $+Px$; par suite, d'après la formule (IV) du § 33,

$$(l_y)^2_D = \underset{D}{\overset{D.B}{\mathcal{M}}} Y \frac{+Px}{EI} ds = + \frac{P}{E} \underset{D}{\overset{D.B}{\mathcal{M}}} Y \frac{x}{I} ds.$$

Donc enfin

$$(c) \qquad (l'_y)_2 = + \frac{P}{E} \underset{D}{\overset{D.B}{\mathcal{M}}} Y \frac{x}{I} ds.$$

En vertu du second théorème de réciprocité (§ 7), le déplacement angulaire g^D_2, imprimé à la section (2) par la charge P appliquée en D, est égal au déplacement vertical $(l_y)^2_D$ qu'imprimerait au point D un couple égal à $+$ P, appliqué à la section extrême (2) du tronçon B (2); c'est-à-dire que

$$g'_2 = g^D_2 = (l_y)^2_D.$$

Or, ce couple $+$ P produirait, en chaque point (xy) du tronçon B (2), ou BC, un moment fléchissant égal à $-$ P; par conséquent, d'après la formule (IV) du § 33,

$$(l_y)^2_D = \underset{D}{\overset{D.B}{\mathcal{M}}} Y \frac{-P}{EI} ds = - \frac{P}{E} \underset{D}{\overset{D.B}{\mathcal{M}}} Y \frac{ds}{I}.$$

Donc finalement

$$(d) \qquad g'_2 = - \frac{P}{E} \underset{D}{\overset{D.B}{\mathcal{M}}} Y \frac{ds}{I}.$$

2° *La charge mobile se trouve sur le tronçon* A (1).

Dans cette hypothèse le tronçon B (2) n'est pas déformé, en sorte que

$$(a') \qquad (l'_x)_2 = 0, \quad (l'_y)_2 = 0, \quad g'_2 = 0.$$

$(l'_x)_1$, $(l'_y)_1$ et g'_1 se calculent par la méthode qui vient d'être suivie pour l'évaluation des déplacements $(l'_x)_2$, $(l'_y)_2$ et g'_2 de l'extré-

mité (2) du tronçon B (2), lorsque c'est ce dernier qui porte la charge mobile. On trouve :

$$(b') \qquad (l'_x)_1 = -\frac{P}{E}\underset{D}{\overset{D.A}{\mathcal{M}}} Y\frac{y}{I}\,ds,$$

$$(c') \qquad (l'_y)_1 = +\frac{P}{E}\underset{D}{\overset{D.A}{\mathcal{M}}} Y\frac{x}{I}\,ds,$$

$$(d') \qquad g'_1 = -\frac{P}{E}\underset{D}{\overset{D.A}{\mathcal{M}}} Y\frac{ds}{I},$$

D étant toujours le point d'application de la charge.

En portant successivement dans les équations (6) du § 42, les valeurs simultanées des déplacements, données 1° par les formules (a), (b), (c), (d), 2° par les formules (a'), (b'), (c'), (d'), on a :

1° *Lorsque la charge mobile se trouve sur la partie d'arc* B (2), *ou* BC.

$$(7) \quad \begin{cases} (o'q')\,\varphi'\,\dfrac{M}{b} = P\underset{D}{\overset{D.B}{\mathcal{M}}} Y\left[y - \dfrac{-(d'''-d'')x + c''d''' - c'''d''}{c''-c'''}\right]\dfrac{ds}{I}, \\ (o''q'')\,\varphi''\,X = P\underset{D}{\overset{D.B}{\mathcal{M}}} Y\left[y - \dfrac{-(d'-d''')x + c'''d' - c'd'''}{c'''-c'}\right]\dfrac{ds}{I}, \\ -(o'''q''')\,\varphi'''\,Y = P\underset{D}{\overset{D.B}{\mathcal{M}}} Y\left[y - \dfrac{-(d''-d')\,x + c'd'' - c''d'}{c'-c''}\right]\dfrac{ds}{I}. \end{cases}$$

2° *Lorsque la charge mobile se trouve sur la partie d'arc* A (1), *ou* AC. —

$$(7') \quad \begin{cases} (o'q')\,\varphi'\,\dfrac{M}{b} = -P\underset{D}{\overset{D.A}{\mathcal{M}}} Y\left[y - \dfrac{-(d'''-d'')x + c''d''' - c'''d''}{c''-c'''}\right]\dfrac{ds}{I}, \\ (o''q'')\,\varphi''\,X = -P\underset{D}{\overset{D.A}{\mathcal{M}}} Y\left[y - \dfrac{-(d'-d''')x + c'''d' - c'd'''}{c'''-c'}\right]\dfrac{ds}{I}, \\ -(o'''q''')\,\varphi'''\,Y = -P\underset{D}{\overset{D.A}{\mathcal{M}}} Y\left[y - \dfrac{-(d''-d')\,x + c'd'' - c''d'}{c'-c''}\right]\dfrac{ds}{I}. \end{cases}$$

Posons

$$(8) \quad \begin{cases} z' = -\dfrac{d'''-d''}{c''-c'''}\,x + \dfrac{c''d'''-c'''d''}{c''-c'''}, \\ z'' = -\dfrac{d'-d'''}{c'''-c'}\,x + \dfrac{c'''d'-c'd'''}{c'''-c'}, \\ z''' = -\dfrac{d''-d'}{c'-c''}\,x + \dfrac{c'd''-c''d'}{c'-c''}, \end{cases}$$

il vient

1° *Lorsque la charge mobile se trouve sur la partie d'arc* BC.

$$(9) \qquad \left\{ \begin{aligned} (o'q')\,\varphi'\,\frac{\mathrm{M}}{b} &= \mathrm{P}\mathop{MY}\limits_{\mathrm{D}}^{\mathrm{D.B}} \frac{y-z'}{\mathrm{I}}\,ds, \\ (o''q'')\,\varphi''\,\mathrm{X} &= \mathrm{P}\mathop{MY}\limits_{\mathrm{D}}^{\mathrm{D.B}} \frac{y-z''}{\mathrm{I}}\,ds, \\ -(o'''q''')\,\varphi'''\,\mathrm{Y} &= \mathrm{P}\mathop{MY}\limits_{\mathrm{D}}^{\mathrm{D.B}} \frac{y-z'''}{\mathrm{I}}\,ds. \end{aligned} \right.$$

2° *Lorsque la charge mobile se trouve sur la partie d'arc* AC :

$$(9') \qquad \left\{ \begin{aligned} (o'q')\,\varphi'\,\frac{\mathrm{M}}{b} &= -\mathrm{P}\mathop{MY}\limits_{\mathrm{D}}^{\mathrm{D.A}} \frac{y-z'}{\mathrm{I}}\,ds, \\ (o''q'')\,\varphi''\,\mathrm{X} &= -\mathrm{P}\mathop{MY}\limits_{\mathrm{D}}^{\mathrm{D.A}} \frac{y-z''}{\mathrm{I}}\,ds, \\ -(o'''q''')\,\varphi'''\,\mathrm{Y} &= -\mathrm{P}\mathop{MY}\limits_{\mathrm{D}}^{\mathrm{D.A}} \frac{y-z'''}{\mathrm{I}}\,ds. \end{aligned} \right.$$

Si l'on regarde z', z'' et z''' comme des ordonnées répondant aux abscisses x, on voit que les équations (8) représentent trois droites :

La première passe par les centres o'' et o''' *(fig. 9)*, car son équation est satisfaite : 1° si on y fait $x = c''$, $z' = d''$; 2° si on y fait $x = c'''$, $z' = d'''$. Et on vérifie de même que la seconde passe par les centres o' et o''', tandis que la troisième passe par o' et o''.

Par suite, $(y - z')$, $(y - z'')$, $(y - z''')$ sont les segments d'ordonnées, — autrement dit de verticales, — compris respectivement entre les droites $o''o'''$, $o'o'''$, $o'o''$ et la ligne moyenne de l'arc, ces segments étant comptés positivement pour les tronçons de ligne moyenne situés au-dessous de ces droites et négativement pour ceux situés au-dessus.

Dès lors, en remarquant que les quantités $(o'q')$, $(o''q'')$, $(o'''q''')$, φ', φ'', φ''' et b sont des constantes pour la section C considérée, et en se rappelant que D désigne le point d'application de la charge mobile, on traduit immédiatement comme suit les équations (9) et (9') :

Théorème I. — ***Étant donnés un arc* AB *encastré à ses extrémités, parcouru par une charge mobile, et une section transversale* C *arbitrairement choisie, si on applique successivement des forces fictives verticales,* 1° $\frac{y-z'}{\mathrm{I}}\,ds$, 2° $\frac{y-z''}{\mathrm{I}}\,ds$, 3° $\frac{y-z'''}{\mathrm{I}}\,ds$, *tout le long de la ligne moyenne, — les quantités* $y-z'$, $y-z''$, $y-z'''$ *étant respectivement***

les segments de verticales compris entre la dite ligne et les côtés o″o‴, o′o‴, o′o″ du triangle formé par le centre fixe o′ de la travée et les centres o″ et o‴ correspondants à la section C :

1° — (a) *La somme des moments, par rapport à un point quelconque* D *situé entre la section* C *et la retombée* B, *des forces fictives* $\frac{y - z'}{I}\,ds$ *réparties entre ce point et le point* B, *est proportionnelle au moment fléchissant que la charge mobile produit en* C *lorsqu'elle passe en* D.

(b) *La somme des moments, par rapport à un point quelconque* D *situé entre la section* C *et la retombée* A, *des forces fictives* $\frac{y - z'}{I}\,ds$ *réparties entre ce point et le point* A, *est proportionnelle au moment fléchissant que la charge mobile produit en* C *lorsqu'elle passe en* D.

2° — (a) *La somme des moments, par rapport à un point quelconque* D *situé entre la section* C *et la retombée* B, *des forces fictives* $\frac{y - z''}{I}\,ds$ *réparties entre ce point et le point* B, *est proportionnelle à la composante horizontale de la résultante des efforts intérieurs développés dans la section* C *lorsque la charge mobile passe en* D.

(b) *La somme des moments, par rapport à un point quelconque* D *situé entre la section* C *et la retombée* A, *des forces fictives* $\frac{y - z''}{I}\,ds$ *réparties entre ce point et le point* A, *est proportionnelle à la composante horizontale de la résultante des efforts intérieurs développés dans la section* C *lorsque la charge mobile passe en* D.

3° — *Les propositions* (a) *et* (b) *s'appliquent également aux forces fictives* $\frac{y - z'''}{I}\,ds$, *et à la composante verticale de la résultante des efforts intérieurs développés dans la section* C *par le passage de la charge mobile.*

En se référant à une propriété connue des courbes funiculaires et à la définition des lignes d'influence, on transforme comme suit le théorème qui précède :

Théorème II. — *Étant donnés un arc encastré à ses deux extrémités, parcouru par une charge mobile, et une section transversale* C *arbitrairement choisie, si on applique successivement des forces fictives verticales* 1° $\frac{y - z'}{I}\,ds$, 2° $\frac{y - z''}{I}\,ds$, 3° $\frac{y - z'''}{I}\,ds$, *tout le long de la ligne*

moyenne de l'arc, ($y-z'$, $y-z''$, $y-z'''$ étant les segments de verticales précédemment définis), *qu'avec des distances polaires arbitraires on construise les trois courbes funiculaires correspondantes, qu'on mène des tangentes aux deux extrémités de chacune de ces courbes et qu'on arrête ces tangentes à la verticale du point* C :

Les segments de verticales compris entre chacune de ces courbes funiculaires et les tangentes y relatives sont respectivement proportionnels aux ordonnées des lignes d'influence du moment fléchissant et des composantes horizontale et verticale de la résultante de translation des efforts intérieurs développés dans la section C.

§ 44. — Propriétés des courbes funiculaires correspondantes aux forces fictives $\frac{y-z'}{I}ds$, $\frac{y-z''}{I}ds$, $\frac{y-z'''}{I}ds$.

Théorème I. — *Les tangentes aux extrémités de la courbe funiculaire correspondante aux forces fictives verticales* $\frac{y-z'}{I}ds$, *réparties tout le long de l'arc, se coupent sur la verticale du centre de gravité* C *de la section considérée.*

Pour qu'il en soit ainsi, il faut et il suffit que la résultante des forces fictives en question, réparties tout le long de la ligne moyenne AB de l'arc, passe par le point C, ou, par suite, que la somme des moments de ces forces par rapport à C soit nulle; c'est-à-dire que

$$\int_A^B \left(\frac{y-z'}{I}ds\right)x=0,$$

ou bien

$$\int_A^B \frac{z'x}{I}ds=\int_A^B \frac{xy}{I}ds\,;$$

telle est l'égalité à vérifier.

Or, en chaque point (xy) de la ligne moyenne de l'arc, z' a pour valeur, d'après les équations (8) du § 43,

$$z'=-\frac{d'''-d''}{c''-c'''}x+\frac{c''d'''-c'''d''}{c''-c'''}\,;$$

par suite

$$\int_A^B \frac{z'x}{I} ds = -\frac{d'''-d''}{c''-c'''} \int_A^B \frac{x^2}{I} ds + \frac{c''d'''-c'''d''}{c''-c'''} \int_A^B \frac{x}{I} ds.$$

Mais, en vertu du théorème des moments,

$$\int \frac{x^2}{I} ds = c''' \int_A^B \frac{x}{I} ds,$$

puisque c''' est l'abscisse du centre o''' des forces fictives parallèles $\frac{x}{I} ds$ réparties tout le long de l'arc.

Par conséquent

$$\int_A^B \frac{z'x}{I} ds = \left(-\frac{d'''-d''}{c''-c'''} c''' + \frac{c''d'''-c'''d''}{c''-c'''}\right) \int_A^B \frac{x}{I} ds = d'' \int_A^B \frac{x}{I} ds.$$

Or d'' étant l'ordonnée du centre o''' des forces fictives parallèles $\frac{x}{I} ds$, on a

$$d'' \int_A^B \frac{x}{I} ds = \int_A^B \frac{xy}{I} ds.$$

Donc finalement

$$\int_A^B \frac{z'x}{I} ds = \int_A^B \frac{xy}{I} ds.$$

C'est précisément l'égalité qu'il s'agissait de vérifier.

Théorème II. — *Les tangentes aux extrémités de la courbe funiculaire correspondante aux forces fictives verticales $\frac{y-z''}{I}$ ds, réparties tout le long de l'arc, sont situées dans le prolongement l'une de l'autre, ou, autrement dit, coïncident avec la ligne de fermeture de cette courbe.*

Cette proposition résulte immédiatement de ce que les forces fictives en question sont en équilibre, ainsi que nous allons le montrer en vérifiant les deux égalités

$$(a) \qquad \int_A^B \frac{y-z''}{I} ds = 0 \quad \text{et} \quad \int_A^B \left(\frac{y-z''}{I} ds\right) x = 0,$$

ou bien

$$\int_A^B \frac{z''}{I}\,ds = \int_A^B \frac{y}{I}\,ds \quad \text{et} \quad \int_A^B \frac{z''x}{I}\,ds = \int_A^B \frac{xy}{I}\,ds.$$

En effet, en chaque point (xy) de la ligne moyenne de l'arc, z'' a pour valeur, d'après les équations (8) du § 43,

$$z'' = -\frac{d'-d'''}{c'''-c'}x + \frac{c'''d'-c'd'''}{c'''-c'};$$

donc

$$\int_A^B \frac{z''}{I}\,ds = -\frac{d'-d'''}{c'''-c'}\int_A^B \frac{x}{I}\,ds + \frac{c'''d'-c'd'''}{c'''-c'}\int_A^B \frac{ds}{I}.$$

et

$$\int_A^B \frac{z''x}{I}\,ds = -\frac{d'-d'''}{c'''-c'}\int_A^B \frac{x^2}{I}\,ds + \frac{c'''d'-c'd'''}{c'''-c'}\int_A^B \frac{x}{I}\,ds.$$

Mais, en vertu du théorème des moments,

$$\int_A^B \frac{x}{I}\,ds = c'\int_A^B \frac{ds}{I} \quad \text{et} \quad \int_A^B \frac{x^2}{I}\,ds = c''\int_A^B \frac{x}{I}\,ds,$$

puisque c' et c'' sont les abscisses des points o' et o'', centres respectifs des forces fictives parallèles $\frac{ds}{I}$ et $\frac{x}{I}ds$ réparties tout le long de l'arc.

Par suite

$$\int_A^B \frac{z''}{I}\,ds = \left(-\frac{d'-d'''}{c'''-c'}c' + \frac{c'''d'-c'd'''}{c'''-c'}\right)\int_A^B \frac{ds}{I} = d'\int_A^B \frac{ds}{I},$$

et

$$\int_A^B \frac{z''x}{I}\,ds = \left(-\frac{d'-d'''}{c'''-c'}c''' + \frac{c'''d'-c'd'''}{c'''-c'}\right)\int_A^B \frac{x}{I}\,ds = d'''\int_A^B \frac{x}{I}\,ds.$$

Or, d' et d''' étant les ordonnées des centres o' et o''' des forces fictives parallèles $\frac{ds}{I}$ et $\frac{x}{I}ds$, réparties tout le long de l'arc, on a

$$d'\int_A^B \frac{ds}{I} = \int_A^B \frac{y}{I}\,ds \quad \text{et} \quad d'''\int_A^B \frac{x}{I}\,ds = \int_A^B \frac{xy}{I}\,ds;$$

donc finalement

$$\int_A^B \frac{z''}{I} ds = \int_A^B \frac{y}{I} ds \quad \text{et} \quad \int_A^B \frac{z''x}{I} ds = \int_A^B \frac{xy}{I} ds.$$

Ce sont les égalités qu'il s'agissait de vérifier.

Scolie. — La première des équations (a) montre que *le polygone des forces fictives verticales* $\frac{y-z''}{I} ds$ *est fermé.*

Théorème III. — *Les tangentes aux extrémités de la courbe funiculaire correspondante aux forces fictives verticales* $\frac{y-z'''}{I} ds$, *réparties tout le long de l'arc, sont parallèles.*

Pour qu'il en soit ainsi, il faut et il suffit que le premier et le dernier rayon polaire du polygone des forces fictives $\frac{y-z'''}{I} ds$ coïncident, ce qui nécessite que la somme algébrique de ces forces soit nulle, c'est-à-dire que

$$(b) \quad \int_A^B \frac{y-z'''}{I} ds = 0. \quad \text{ou bien} \quad \int_A^B \frac{z'''}{I} ds = \int_A^B \frac{y}{I} ds;$$

telle est l'égalité que nous allons vérifier.

En chaque point (xy) de la ligne moyenne de l'arc, z''' a pour valeur (équations (8) du § 43)

$$z''' = -\frac{d''-d'}{c'-c''} x + \frac{c'd''-c''d'}{c'-c''}.$$

Donc

$$\int_A^B \frac{z'''}{I} ds = -\frac{d''-d'}{c'-c''} \int_A^B \frac{x}{I} ds + \frac{c'd''-c''d'}{c'-c''} \int_A^B \frac{ds}{I}.$$

Mais

$$\int_A^B \frac{x}{I} ds = c \int_A^B \frac{ds}{I},$$

puisque c' est l'abscisse du centre o' des forces fictives $\frac{ds}{I}$ réparties tout le long de la ligne moyenne.

Par suite

$$\int_A^B \frac{z'''}{I} ds = \left(-\frac{d''-d'}{c'-c''}c' + \frac{c'd''-c''d'}{c'-c''}\right)\int_A^B \frac{ds}{I} = d'\int_A^B \frac{ds}{I}.$$

Or

$$d'\int_A^B \frac{ds}{I} = \int_A^B \frac{y}{I} ds,$$

puisque d' est l'ordonnée du centre o' des forces fictives $\frac{ds}{I}$.

Donc enfin

$$\int_A^B \frac{z'''}{I} ds = \int_A^B \frac{y}{I} ds.$$

Ce qui justifie la proposition énoncée.

Scolie. — L'équation (b) montre que *le polygone des forces fictives verticales* $\frac{y-z'''}{I} ds$ *est fermé.*

Théorème IV. — *Les trois courbes funiculaires correspondantes aux forces fictives* $\frac{y-z'}{I} ds$, $\frac{y-z''}{I} ds$ *et* $\frac{y-z'''}{I} ds$ *présentent des points d'inflexion situés sur les verticales des points d'intersection respectifs des trois droites* $o''o'''$, $o'o'''$ et $o'o''$ *avec la ligne moyenne de l'arc.*

Cette proposition résulte immédiatement de ce qu'en ces points d'intersection les forces fictives dont il s'agit s'annulent en changeant de signe.

§ 45. — Construction des lignes d'influence du moment fléchissant et des composantes horizontale et verticale de la résultante de translation des efforts intérieurs développés en une section C arbitrairement choisie.

Le théorème II du § 43 ramène cette construction à celle de trois courbes funiculaires correspondantes aux forces fictives verticales $\frac{y-z'}{I} ds$, $\frac{y-z''}{I} ds$ et $\frac{y-z'''}{I} ds$ réparties tout le long de la ligne moyenne de l'arc.

Divisons cette ligne moyenne en un certain nombre de parties

Δs égales entre elles, Δs ayant la même valeur qu'au § 38 *(Construction des centres).*

Nous pouvons substituer, sans erreur appréciable, aux trois courbes funiculaires dont il s'agit, trois polygones funiculaires correspondants respectivement à des forces fictives élémentaires finies $\frac{y-z'}{I}\Delta s$, $\frac{y-z''}{I}\Delta s$ et $\frac{y-z'''}{I}\Delta s$, appliquées au milieu de chaque élément Δs de ligne moyenne.

De plus, il convient d'affecter ces forces fictives du coefficient constant $\frac{I_m}{n\Delta s}$ déjà employé dans la détermination des centres et des quantités φ', φ'' et φ''' (§ 38), — c'est-à-dire de leur attribuer les valeurs suivantes :

$$(y-z')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I},\quad (y-z'')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}\quad \text{et}\quad (y-z''')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}.$$

Traçons *(fig. 3,* pl. 200*)* les trois polygones de ces forces fictives, lesquels se réduisent à trois droites, en ayant soin de commencer par l'extrémité A de l'arc; puis choisissons, sur les horizontales menées par les origines α', α'', α''' de ces polygones, des pôles p', p'', p''' dont les distances polaires B', B'', B''', pour l'instant arbitraires, seront regardées comme positives ou comme négatives, suivant que les pôles seront à gauche ou à droite des polygones des forces; enfin, construisons les polygones funiculaires correspondants $a'C'b'$, $a''C''b''$, $a'''C'''b'''$, dont nous faisons coïncider respectivement les premiers côtés avec les horizontales U_1U_1', U_2U_2', U_3U_3', et dont nous prolongeons les premiers et les derniers côtés jusqu'à la verticale du point C.

Ces polygones funiculaires ont pour limites, lorsqu'on fait décroître indéfiniment Δs, les courbes funiculaires des $\frac{y-z'}{I}ds$, $\frac{y-z''}{I}ds$ et $\frac{y-z'''}{I}ds$, lesquelles jouissent des propriétés énoncées au § 44 (théorèmes I, II et III).

Donc : 1° le dernier côté $b'c'$ du polygone funiculaire correspondant aux forces fictives $(y-z')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, coupera U_1U_1' en un point c' situé sur la verticale du point C; 2° le dernier côté $b''c''$ du polygone

funiculaire correspondant aux efforts fictifs $(y - z'')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ coïncidera avec $U_2U'_2$ et fermera par conséquent le polygone ; 3° le dernier côté $b'''c'''$ du polygone funiculaire correspondant aux forces fictives $(y - z''')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ sera parallèle à $U_3U'_3$. Ce sont là des vérifications de l'exactitude des constructions.

Désignons par K′H′, K″H″ et K‴H‴ les segments de la verticale d'un point quelconque D de l'arc, interceptés respectivement par ces trois polygones et leurs côtés extrêmes, prolongés jusqu'à la verticale du point C, segments que nous regarderons comme positifs ou négatifs, suivant que les points H seront au-dessous ou au-dessus des points K ; on a, en vertu d'une propriété connue des polygones funiculaires :

En tout point D situé dans la partie d'arc BC :

$$+\underset{D}{\overset{D.B}{M}} Y(y-z')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I} = B' \times K'H',$$

$$+\underset{D}{\overset{D.B}{M}} Y(y-z'')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I} = B'' \times K''H'',$$

$$+\underset{D}{\overset{D.B}{M}} Y(y-z''')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I} = B''' \times K'''H''',$$

En tout point D situé dans la partie d'arc AC :

$$-\underset{D}{\overset{D.A}{M}} Y(y-z')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I} = B' \times K'H',$$

$$-\underset{D}{\overset{D.A}{M}} Y(y-z'')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I} = B'' \times K''H'',$$

$$-\underset{D}{\overset{D.A}{M}} Y(y-z''')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I} = B''' \times K'''H''',$$

étant entendu que les segments de verticales sont lus à l'échelle des longueurs, et les distances polaires à l'échelle des forces fictives employées, qui est celle des longueurs, puisque les quantités $y - z'$, $y - z''$, $y - z'''$ sont des longueurs, que n est un nombre sans dimension et que $\frac{I_m}{I}$ est un rapport.

En multipliant les deux membres de chacune des relations précédentes par le facteur constant $\frac{n\Delta s}{I_m}$, il vient :

$$+\mathcal{M}_{D}^{D.B} Y \frac{y - z'}{I} \Delta s = \frac{n\Delta s}{I_m} B' \times K'H', \qquad -\mathcal{M}_{D}^{D.A} Y \frac{y - z'}{I} \Delta s = \frac{n\Delta s}{I_m} B' \times K'H',$$

$$+\mathcal{M}_{D}^{D.B} Y \frac{y - z''}{I} \Delta s = \frac{n\Delta s}{I_m} B'' \times K''H'', \qquad -\mathcal{M}_{D}^{D.A} Y \frac{y - z''}{I} \Delta s = \frac{n\Delta s}{I_m} B'' \times K''H'',$$

$$+\mathcal{M}_{D}^{D.B} Y \frac{y - z'''}{I} \Delta s = \frac{n\Delta s}{I_m} B''' \times K'''H''', \qquad -\mathcal{M}_{D}^{D.A} Y \frac{y - z'''}{I} \Delta s = \frac{n\Delta s}{I_m} B''' \times K'''H'''.$$

Par suite, à cause des équations (9) et (9′) du § 43, et à la substitution près des forces fictives élémentaires finies aux forces fictives infiniment petites, on a, *en un point quelconque* D de l'arc, c'est-à-dire *pour toute position de la charge mobile* P,

$$\frac{M}{b} = P \frac{\frac{n\Delta s}{I_m} B'}{(o'q')\varphi'} K'H',$$

$$X = P \frac{\frac{n\Delta s}{I_m} B''}{(o''q'')\varphi''} K''H'',$$

$$-Y = P \frac{\frac{n\Delta s}{I_m} B'''}{(o'''q''')\varphi'''} K'''H'''.$$

En remplaçant φ', φ'' et φ''' par leurs valeurs tirées des relations (2), (3) et (4) du § 38, il vient

$$\frac{M}{b} = \frac{P \times B'}{(o'q')\Phi'} K'H',$$

$$X = \frac{P \times B''}{(o''q'')\Phi''} K''H'',$$

$$-Y = \frac{P \times B'''}{(o'''q''')\Phi'''} K'''H'''.$$

Cela posé, désignons par $\overline{P}$, $\overline{B'}$, $\overline{o'q'}$, $\overline{\Phi'}$, $\overline{K'H'}$, etc... les longueur brutes, — abstraction faite de toute échelle, — des lignes qui sur l'épure représentent les quantités P, B′, $o'q'$, Φ', K′H′, etc...

Soient, en outre, $\frac{1}{f}$ l'échelle des forces et $\frac{1}{l}$ l'échelle des longueurs.

On a

$$P = \overline{P} \times f, \quad B' = \overline{B'} \times l, \quad o'q' = \overline{o'q'} \times l,$$
$$\Phi' = \overline{\Phi'} \times l, \quad K'H' = \overline{K'H'} \times l, \text{ etc...}$$

En substituant ces valeurs dans les trois équations précédentes, nous obtenons

$$\frac{M}{b}=\left(\frac{\overline{P}\times\overline{B'}}{\overline{(o'q')}\,\overline{\Phi'}}\,\overline{K'H'}\right)f,$$

$$X=\left(\frac{\overline{P}\times\overline{B''}}{\overline{(o''q'')}\,\overline{\Phi''}}\,\overline{K''H''}\right)f,\qquad -Y=\left(\frac{\overline{P}\times\overline{B'''}}{\overline{(o'''q''')}\,\overline{\Phi'''}}\,\overline{K'''H'''}\right)f.$$

Or, on peut toujours prendre pour distances polaires $\overline{B'}$, $\overline{B''}$, $\overline{B'''}$, des longueurs données par les formules

$$\overline{B'}=\frac{\overline{(o'q')}\,\overline{\Phi'}}{\overline{P}},\quad \overline{B''}=\frac{\overline{(o''q'')}\,\overline{\Phi''}}{\overline{P}},\quad \overline{B'''}=-\frac{\overline{(o'''q''')}\,\overline{\Phi'''}}{\overline{P}},$$

auquel cas les équations précédentes se réduisent à

$$\frac{M}{b}=\overline{K'H'}\times f,\quad X=\overline{K''H''}\times f,\quad Y=\overline{K'''H'''}\times f;$$

et l'on peut dire, dès lors, que les segments de verticales $\overline{K'H'}$, $\overline{K''H''}$ et $\overline{K'''H'''}$, correspondants aux polygones funiculaires tracés avec les distances polaires ci-dessus, représentent, *à l'échelle des forces*, les quantités $\frac{M}{b}$, X et Y (*), ou encore qu'ils sont *égaux aux ordonnées des lignes d'influence des dites quantités.*

Par suite, si l'on porte ces segments en ordonnées, à partir des droites horizontales $U_1U'_1$, $U_2U'_2$, $U_3U'_3$, choisies comme axes des abscisses, les lieux des extrémités de ces ordonnées seront les lignes d'influence cherchées.

En raison de la position que nous avons eu soin de donner aux premiers côtés des polygones funiculaires, cette opération se trouve toute faite pour les parties $a'C'$ et $a'''C'''$ des lignes d'influence de $\frac{M}{b}$ et de Y, qui correspondent à la partie d'arc AC, et elle est complètement réalisée pour la totalité de la ligne d'influence de X.

On remarquera qu'en ce qui concerne la ligne d'influence de Y, l'opération en question se réduit à transporter parallèlement à elle-même la partie $C'''b'''$ du polygone funiculaire des efforts fictifs $(y-z''')\,\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, située à droite de la verticale de C, de manière à

(*) Dans la figure 3 (*pl.* 200), on a pris $\overline{B'''}=+\frac{\overline{(o'''q''')}\,\overline{\Phi'''}}{\overline{P}}$, de sorte que $\overline{K'''H'''}$ représente — Y et non + Y.

amener le côté extrême de droite de ce polygone en coïncidence avec $U_3U'_3$; la translation a donc lieu d'une quantité égale à la distance verticale des côtés extrêmes (*).

Quant à la ligne d'influence de X, il résulte de ce qui précède qu'elle se confond avec le polygone funiculaire des efforts fictifs $(y-z'')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$.

Nota. — Il est facile de tracer directement, — c'est-à-dire sans effectuer le report des segments tels que K'H', — la portion b'_1C' de la ligne d'influence de la quantité $\frac{M}{b}$; à cet effet, on construira à part un polygone de celles des forces fictives $(y-z'')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ dont les points d'application sont sur la portion d'arc CB ; soit $\gamma'_1\beta'_1$ ce polygone. Puis on prendra un pôle p'_1, de de distance B', sur l'horizontale de l'extrémité β'_1. Enfin, on tracera le polygone funiculaire correspondant, en commençant par la droite et en ayant soin de faire coïncider le côté extrême de droite avec l'horizontale $U_1U'_1$. Ce polygone funiculaire sera précisément la partie de ligne d'influence b'_1C' cherchée.

Résumé des constructions ***à effectuer pour déterminer les lignes d'influence du moment fléchissant et des composantes horizontale et verticale de la résultante des efforts intérieurs développés en une section C arbitrairement choisie.***

1° Construire les quantités $\overline{\Phi'}$, $\overline{\Phi''}$, $\overline{\Phi'''}$, ainsi que le centre fixe o' de la travée et les centres o'' et o''' correspondants à la section C (§ 38) ; joindre ces centres et mener les lignes $o'q'$, $o''q''$ et $o'''q'''$ (§ 42) ;

2° Tracer trois polygones funiculaires, de distances polaires $\overline{B'}=\frac{\overline{(o'q')}\,\overline{\Phi'}}{\overline{P}}$, $\overline{B''}=\frac{\overline{(o''q'')}\,\overline{\Phi''}}{\overline{P}}$, $\overline{B'''}=\frac{\overline{(o'''q''')}\,\overline{\Phi'''}}{\overline{P}}$, correspondants à des efforts fictifs verticaux ayant respectivement pour intensités $(y-z')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, $(y-z'')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, $(y-z''')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, n et I_m ayant les valeurs

(*) Il est facile de démontrer que cette distance verticale représente la charge P à l'échelle des forces.

déjà employées pour la construction des quantités $\overline{\Phi'}$, $\overline{\Phi''}$, $\overline{\Phi'''}$ et des centres o', o'' et o'''.

3° Ramener les ordonnées de ces polygones, comptées à partir des côtés extrêmes prolongés jusqu'à la verticale de C, à avoir leurs pieds sur les axes $U_1U'_1$, $U_2U'_2$, $U_3U'_3$.

§ 46. — Lignes d'influence des quantités M, X et Y correspondantes aux diverses sections de l'arc.

Lorsqu'on aura construit, ainsi qu'il vient d'être dit, les lignes d'influence relatives à une section C quelconque de l'arc, on utilisera les résultats obtenus, pour simplifier très notablement les constructions similaires à effectuer pour la détermination des lignes d'influence relatives à d'autres sections arbitrairement choisies.

Nous allons établir en effet :

1° Que les centres o'' et o''' relatifs à la section C étant connus, on en tire immédiatement ceux o''_1, o'''_1, relatifs à une autre section C_1 arbitrairement choisie ;

2° Que les deux polygones funiculaires des efforts fictifs $(y_1 - z''_1)\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ et $(y_1 - z'''_1)\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, polygones dont se déduisent les lignes d'influence des quantités X et Y relatives à la section C_1, sont identiques à ceux des efforts fictifs

$$(y - z'')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I} \quad \text{et} \quad (y - z''')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I},$$

construits pour la section C, et qu'en conséquence il n'y a lieu d'effectuer, pour la section C_1, que le seul tracé du polygone funiculaire des efforts fictifs $(y_1 - z'_1)\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, polygone qui fait connaître la ligne d'influence du moment fléchissant en la dite section.

Propriétés relatives aux centres o'' et o''' correspondants aux diverses sections de l'arc (*)

Théorème I. — *Lorsque le centre de gravité C décrit la ligne moyenne*

(*) Voir la Note I. — *Propriétés des droites qui joignent les centres.*

de l'arc, en entraînant d'un mouvement de translation les axes de coordonnées Cx *et* Cy :

1° *Les centres* o'' *et* o''' *correspondants décrivent deux droites issues du centre fixe* o' *de la travée; autrement dit, les côtés* $o'o''$ *et* $o'o'''$ *du triangle des centres restent fixes, tandis que le troisième* $o''o'''$ *se déplace*;

2° *La situation du point* C *étant supposée rapportée à deux axes de coordonnées fixes, l'un* $o'x'$ *horizontal, l'autre* $o'y'$ *vertical* (*fig. 10*, p. 468), *les distances* $o'o''$ *et* $o'o'''$ *varient en raison inverse : la première, de l'ordonnée, la seconde, de l'abscisse du centre de gravité de la section mobile*;

3° *Les produits* $(o''q'')\varphi''$ *et* $(o'''q''')\varphi'''$ *restent constants*;

4° *Les produits* $(c''-c')\varphi''$ *et* $(c'''-c')\varphi'''$ *restent également constants* (*).

1° — Les points o'' et o''' sont respectivement les centres des forces fictives parallèles $\frac{y}{I}\,ds$ et $\frac{x}{I}\,ds$, dont les valeurs dépendent de la position du point C, origine des coordonnées x et y.

Les coordonnées de o'' et de o''' par rapport à Cx et Cy sont données par les formules :

$$(a)\quad \left\{ \begin{aligned} c'' &= \frac{\int_A^B \frac{xy}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{y}{I}\,ds}, & d'' &= \frac{\int_A^B \frac{y^2}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{y}{I}\,ds}, \\ c''' &= \frac{\int_A^B \frac{x^2}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{x}{I}\,ds}, & d''' &= \frac{\int_A^B \frac{xy}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{x}{I}\,ds}. \end{aligned} \right.$$

Convenons maintenant de regarder la fibre moyenne AB de l'arc comme une ligne matérielle dont le poids de chaque élément ds serait égal à $\frac{ds}{I}$.

(*) La nature de la question qui fait l'objet de ce chapitre exige que le point C soit pris sur la ligne moyenne de l'arc. Mais il faut remarquer que les quatre propositions ci-dessus ont un caractère purement géométrique et qu'elles restent vraies, lors même que le point C, considéré alors seulement comme origine des coordonnées Cx et Cy, se déplace dans le plan de la ligne moyenne sans être assujetti à rester sur cette ligne.

On remarquera aussi qu'elles sont encore applicables lorsque les axes Cx et Cy, au lieu d'être, l'un horizontal, l'autre vertical, ont des directions rectangulaires quelconques; dans ce cas, les axes $o'x'$ et $o'y'$ du 2° doivent être menés parallèlement à Cx et à Cy.

Le point o' est le centre de gravité de cette ligne. Les dénominateurs des expressions de c'', d'', c''' et d''' représentent les moments de la dite ligne pesante par rapport aux deux plans, l'un horizontal, l'autre vertical, qui ont pour traces Cx et Cy sur le plan de la ligne moyenne ; les numérateurs en représentent les moments du second ordre par rapport aux mêmes plans.

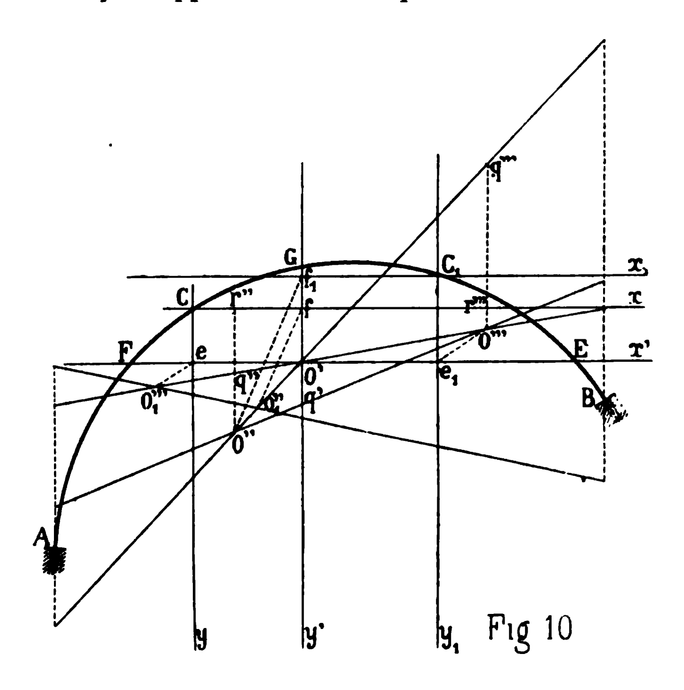


Fig 10

Désignons par x' et y' les coordonnées d'un point quelconque de la ligne moyenne relativement aux axes $o'x'$ et $o'y'$ parallèles à Cx et à Cy et passant par le centre de gravité o'. On a, d'après les propriétés connues des moments du premier et du second ordre,

$$\int_A^B \frac{y}{I}\,ds = d'\int_A^B \frac{ds}{I}, \qquad \int_A^B \frac{xy}{I}\,ds = \int_A^B \frac{x'y'}{I}\,ds + c'd'\int_A^B \frac{ds}{I},$$

$$\int_A^B \frac{x}{I}\,ds = c'\int_A^B \frac{ds}{I}, \qquad \int_A^B \frac{y^2}{I}\,ds = \int_A^B \frac{y'^2}{I}\,ds + d'^2\int_A^B \frac{ds}{I},$$

$$\int_A^B \frac{x^2}{I}\,ds = \int_A^B \frac{x'^2}{I}\,ds + c'^2\int_A^B \frac{ds}{I},$$

où c' et d' sont les coordonnées de o' par rapport aux axes Cx et Cy.

En substituant ces valeurs dans les formules (a), il vient

$$
(b)\quad
\left\{
\begin{aligned}
c'' &= \frac{\int_A^B \frac{x'y'}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}\,\frac{1}{d'} + c' = \frac{C'^2}{d'} + c', &\quad d'' &= \frac{\int_A^B \frac{y'^2}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}\,\frac{1}{d'} + d' = \frac{B'^2}{d'} + d',\\
c''' &= \frac{\int_A^B \frac{x'^2}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}\,\frac{1}{c'} + c' = \frac{A'^2}{c'} + c', &\quad d''' &= \frac{\int_A^B \frac{x'y'}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}\,\frac{1}{c'} + d' = \frac{C'^2}{c'} + d',
\end{aligned}
\right.
$$

en posant

$$
(c)\quad A'^2 = \frac{\int_A^B \frac{x'^2}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}, \quad B'^2 = \frac{\int_A^B \frac{y'^2}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}} \quad C'^2 = \frac{\int_A^B \frac{x'y'}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}.
$$

A', B' et C' sont des constantes indépendantes de la position du point C, puisque les axes de coordonnées ox' et oy' sont fixes.

Si on désigne par γ'', δ'' et γ''', δ''' les coordonnées des centres o'' et o''' par rapport aux axes $o'x'$ et $o'y'$, les relations (b) donnent, eu égard aux formules connues de changement de coordonnées,

$$
(d)\quad
\left\{
\begin{aligned}
\gamma'' &= \frac{\int_A^B \frac{x'y'}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}\,\frac{1}{d'} = \frac{C'^2}{d'}, &\quad \delta'' &= \frac{\int_A^B \frac{y'^2}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}\,\frac{1}{d'} = \frac{B'^2}{d'},\\
\gamma''' &= \frac{\int_A^B \frac{x'^2}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}\,\frac{1}{c'} = \frac{A'^2}{c'}, &\quad \delta''' &= \frac{\int_A^B \frac{x'y'}{I}\,ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}\,\frac{1}{c'} = \frac{C'^2}{c'}
\end{aligned}
\right.
$$

D'où l'on tire

$$(e) \qquad \frac{\delta''}{\gamma''} = \frac{B'^2}{C'^2} \quad \text{et} \quad \frac{\delta'''}{\gamma'''} = \frac{C'^2}{A'^2}.$$

Ces équations ont pour seconds membres des quantités constantes. Si on y regarde les δ et les γ comme les coordonnées courantes des points o'' et o''', elles représentent deux droites passant par l'origine o' des coordonnées.

Donc, lorsque le point C décrit la ligne moyenne de l'arc, les lieux des centres o'' et o''' correspondants à ce point, sont deux droites (*).

2° — Les coordonnées des centres o'' et o''', correspondants à une section C quelconque, prises par rapport aux axes $o'x'$, $o'y'$, sont données par les formules (*d*). De même, les coordonnées γ''_1, δ''_1, γ'''_1, δ'''_1 des centres o''_1 et o'''_1, correspondants à une autre section C_1 arbitrairement choisie, ont pour expressions :

$$\gamma''_1 = \frac{C'^2}{d'_1}, \qquad \delta''_1 = \frac{B'^2}{d'_1},$$

$$\gamma'''_1 = \frac{A'^2}{c'_1}, \qquad \delta'''_1 = \frac{C'^2}{c'_1},$$

où c'_1 et d'_1 sont les coordonnées du centre fixe o' par rapport aux axes C_1x_1 et C_1y_1 parallèles à Cx et à Cy (*fig. 10*, p. 468).

Des formules (*d*) et de celles ci-dessus on déduit

$$\frac{\gamma''}{\gamma''_1} = \frac{\delta''}{\delta''_1} = \frac{d'_1}{d'} \quad \text{et} \quad \frac{\gamma'''}{\gamma'''_1} = \frac{\delta'''}{\delta'''_1} = \frac{c'_1}{c'};$$

et, en vertu de la propriété projective des rapports,

$$\frac{o'o''}{o'o''_1} = \frac{d'_1}{d'} \quad \text{et} \quad \frac{o'o'''}{o'o'''_1} = \frac{c'_1}{c'}.$$

Or, si on désigne par ξ, η et ξ_1, η_1 les coordonnées des points C et C_1 relativement aux axes $o'x'$ et $o'y'$, on a

$$c' = -\xi, \quad d' = -\eta, \quad c'_1 = -\xi_1, \quad d'_1 = -\eta_1;$$

d'où, finalement,

$$(f) \qquad \frac{o'o''}{o'o''_1} = \frac{\eta_1}{\eta} \quad \text{et} \quad \frac{o'o'''}{o'o'''_1} = \frac{\xi_1}{\xi}.$$

Ces relations justifient le 2° du théorème.

(*) On démontrerait facilement que la droite fixe $o'o'''$ est la *ligne de fermeture de l'arc* et que, par suite, la courbe funiculaire des forces fictives $\frac{y-z}{I}\,ds$ est la *ligne de poussée* de M. Maurice Lévy.

3° — Nous allons montrer maintenant que les produits $(o''q'')\varphi''$ et $(o'''q''')\varphi'''$ sont constants, quelle que soit la position du point C.

φ'' et φ''' ont pour expressions (formules (e), § 37)

$$\varphi'' = \int_A^B \frac{y}{I}\,ds, \qquad \varphi''' = \int_A^B \frac{x}{I}\,ds,$$

ou, puisque c' et d' sont les coordonnées du centre fixe o' relativement aux axes Cx et Cy, et que ce point est le centre des forces fictives $\frac{ds}{I}$,

$$(g) \qquad \varphi'' = d'\int_A^B \frac{ds}{I}, \qquad \varphi''' = c'\int_A^B \frac{ds}{I}.$$

D'autre part, les droites $o'o'''$, $o'o''$, dont les coefficients angulaires sont les seconds membres des formules (e), ont pour équations, par rapport aux axes Cx et Cy,

$$(h) \quad \begin{cases} (o'o''') & \dfrac{y-d'}{x-c'} = \dfrac{C'^2}{A'^2}, \\[2ex] (o'o'') & \dfrac{y-d'}{x-c'} = \dfrac{B'^2}{C'^2}, \end{cases}$$

et les ordonnées $r''q''$, $r'''q'''$ de ces droites, répondant respectivement aux abscisses c'' et c''', ont dès lors pour valeurs

$$r''q'' = d' + \frac{C'^2}{A'^2}(c''-c'), \qquad r'''q''' = d' + \frac{B'^2}{C'^2}(c'''-c');$$

d'où

$$o''q'' = r''q'' - r''o'' = d' - d'' + \frac{C'^2}{A'^2}(c''-c'),$$

$$o'''q''' = r'''q''' - r'''o''' = d' - d'' + \frac{B'^2}{C'^2}(c'''-c').$$

Remplaçons $(d'-d'')$, $(c''-c')$, $(d'-d''')$ et $(c'''-c')$, par leurs valeurs tirées des formules (b) ; nous obtenons

$$(j) \quad \begin{cases} o''q'' = \left(-B'^2 + \dfrac{C'^4}{A'^2}\right)\dfrac{1}{d'}, \\[2ex] o'''q''' = \left(-C'^2 + \dfrac{A'^2B'^2}{C'^2}\right)\dfrac{1}{c'}. \end{cases}$$

Les relations (g) et (j) donnent, pour les produits $(o''q'')\varphi''$ et $(o'''q''')\varphi'''$, les valeurs suivantes

$$(k) \quad \begin{cases} (o''q'')\varphi'' = \left(-B'^2 + \dfrac{C'^4}{A'^2}\right) \displaystyle\int_A^B \frac{ds}{I}, \\ (o'''q''')\varphi''' = \left(-C'^2 + \dfrac{A'^2B'^2}{C'^2}\right) \displaystyle\int_A^B \frac{ds}{I}, \end{cases}$$

qui sont des constantes, ainsi que nous l'avions annoncé.

4° — Il reste à démontrer enfin que les valeurs des produits $(c''-c')\varphi''$ et $(c'''-c')\varphi'''$ sont indépendantes de la position du point C.

Les équations (b) donnent

$$c'' - c' = \frac{C'^2}{d'}, \quad \text{et} \quad c''' - c' = \frac{A'^2}{c'}.$$

Multipliant membre à membre ces deux relations et les deux équations (g) on obtient, pour $(c''-c')\varphi'$ et $(c''-c')\varphi''$, les valeurs suivantes

$$(c''-c')\,\varphi'' = C'^2 \int_A^B \frac{ds}{I} = \int_A^B \frac{x'y'}{I} ds$$

et

$$(c'''-c')\,\varphi''' = A'^2 \int_A^B \frac{ds}{I} = \int_A^B \frac{x'^2}{I} ds,$$

qui sont constantes.

Etant donnés le centre fixe o' de la travée et les centres o'' et o''' correspondants a une section C, construire les centres o''_1 et o'''_1 correspondants a une autre section C_1 arbitrairement choisie.

D'après le 1° du théorème précédent, o''_1 et o'''_1 se trouvent sur les droites fixes $o'o''$ et $o'o'''$ connues; on a de plus, en vertu du 2° dudit théorème [formules (f)],

$$(f) \qquad \frac{o'o''}{o'o''_1} = -\frac{\eta_1}{\eta} \quad \text{et} \quad \frac{o'o'''}{o'o'''_1} = -\frac{\xi_1}{\xi}.$$

Ces relations conduisent immédiatement à la construction suivante (*fig. 10*, page 468).

jeter C et C_1 sur $o'x'$ et sur $o'y'$ pour déterminer les coordon-
de ces points, savoir :

$$\xi = o'e, \quad \xi_1 = o'e_1, \quad \eta = o'f, \quad \eta_1 = o'f_1 ;$$

irer $o''f_1$ et par f mener à cette ligne une parallèle qui coupe
ı point o''_1 cherché.

in, tirer $o'''e_1$ et par e mener à cette droite une parallèle qui
ntre $o'o'''$ au point o'''_1 cherché.

narque. — Si le point C_1 vient en E ou en F, sur l'axe $o'x'$, son
née η_1 s'annule, et la première des formules (f) donne alors
$= \infty$; o''_1 est donc rejeté à l'infini sur $o'o''$, et la droite $o'''_1o''_1$
nt une parallèle menée par o'''_1 à $o'o''$.

C_1 vient en G sur l'axe $o'y'$, son abscisse ξ_1 s'annule, et la se-
des formules (e) donne alors $o'o'''_1 = \infty$; o'''_1 est donc rejeté à
i sur $o'o'''$, et la droite $o''_1o'''_1$ devient la parallèle menée par
$'o'''$.

IGNES D'INFLUENCE DES QUANTITÉS M, X ET Y AFFÉRENTES A UNE TION C, D'AILLEURS QUELCONQUE, ÉTANT CONNUES, CONSTRUIRE LES NES DE MÊME NATURE AFFÉRENTES A UNE AUTRE SECTION C_1 ARBI- IREMENT CHOISIE.

ORÈME II. — *Les polygones funiculaires des efforts fictifs*

$$(y_1 - z''_1)\,\frac{\frac{1}{n} - I_m}{I} \quad et \quad (y_1 - z'''_1)\,\frac{\frac{1}{n} I_m}{I},$$

pondants à la section C_1 arbitrairement choisie, sont respective- identiques à ceux des efforts fictifs

$$(y - z'')\,\frac{\frac{1}{n} I_m}{I} \quad et \quad (y - z''')\,\frac{\frac{1}{n} I_m}{I},$$

pondants à la section C.

effet :

Ces polygones correspondent à des efforts fictifs égaux, car,
oites $o'o'''_1$ et $o'o'''$, d'une part, $o'o''_1$ et $o'o''$, d'autre part, coïn-
t entre elles (1° du théorème précédent), on a : $y_1 - z''_1 = y - z''$
$-z'''_1 = y - z'''$;

Ils ont respectivement mêmes distances polaires ($\overline{B''_1} = \overline{B''}$,
$\overline{B'''}$), ainsi qu'il résulte immédiatement des expressions de

ces distances, données au § 45 (page 464), et du 3° du théorème précédent en vertu duquel on a

$$(o''_1 q''_1)\varphi''_1 = (o''q'')\varphi'' \quad \text{et} \quad (o_1'''q'''_1)\varphi'''_1 = (o'''q''')\varphi''',$$

ou, d'après les relations (3) et (4) du § 38,

$$(o''_1 q''_1)\Phi''_1 = (o''q'')\Phi'' \quad \text{et} \quad (o'''_1 q'''_1)\Phi'''_1 = (o'''q''')\Phi'''.$$

Conséquences.— 1° *Les lignes d'influence de la composante* X *sont les mêmes pour toutes les sections de l'arc et se confondent avec le polygone funiculaire des* $(y-z'')\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ *tracé pour la section* C.

En effet, pour toute section C_1 par exemple, la ligne d'influence de X n'est autre chose que le polygone funiculaire des efforts fictifs $(y_1-z''_1)\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ relatif à cette section (§ 45), et, d'après le théorème précédent, ce polygone est identique au polygone funiculaire des $(y-z'')\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ relatif à la section C.

2° *Les lignes d'influence de la composante* Y *relatives aux diverses sections de l'arc se déduisent toutes du seul polygone funiculaire des efforts fictifs* $(y-z''')\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ *relatif à la section* C.

Il résulte, en effet, immédiatement du théorème précédent et de la construction indiquée au § 45 qu'il suffira, pour obtenir la ligne d'influence de Y afférente à une section C_1 arbitrairement choisie, de transporter parallèlement à elle-même, dans le sens vertical, la partie du polygone funiculaire $a'''C'''b'''$ (Pl. 20, *fig.* 3) des $(y-z''')\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, située à droite de la verticale du centre de gravité C_1 de cette section, — l'amplitude de cette translation étant égale à la distance verticale des côtés extrêmes parallèles de ce polygone.

La ligne d'influence cherchée se composera de la partie non déplacée et de la partie déplacée occupant sa nouvelle position.

On pourra effectuer, une fois pour toutes, en $a'''_1b'''_1$, la translation de la totalité du polygone funiculaire. Alors, pour une section C

ve sur la verticale du milieu de la corde de l'arc. En raison
métrie, le tracé pourra ne porter que sur les forces fictives
ondantes à une moitié seulement de l'arc.

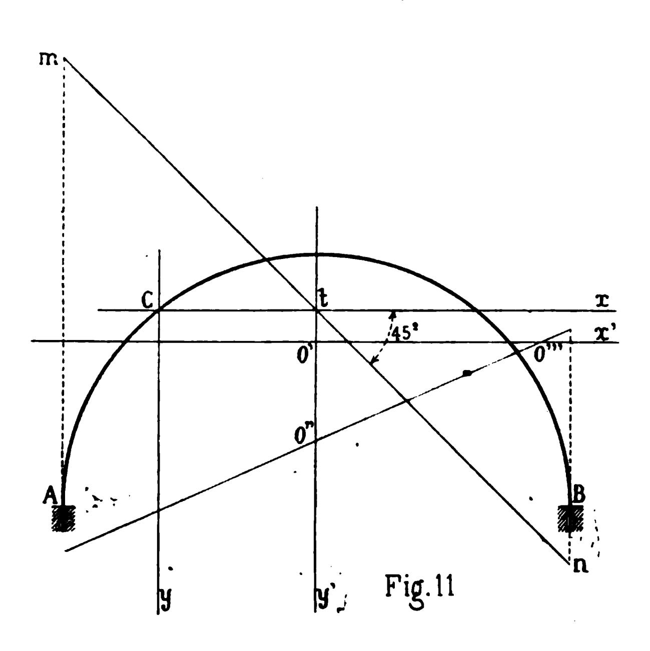


Fig. 11

nême, la détermination du centre o'' correspondant à une
C arbitrairement choisie, n'exigera que le tracé d'un seul
ne funiculaire, celui des forces fictives horizontales $\frac{y}{I}\Delta s$,
eux $y\,\frac{\frac{1}{n}\,I_m}{I}$; le tracé pourra ne porter que sur une moitié de

n, la construction du centre o''' correspondant à cette section
cessitera que le tracé du seul polygone funiculaire des forces
s verticales $\frac{x}{I}\Delta s$, ou mieux $x\,\frac{\frac{1}{n}\,I_m}{I}$, puisqu'on sait que ce cen-
t situé sur l'horizontale $o'x'$.

LIGNES D'INFLUENCE DES QUANTITÉS M, X ET Y, CORRESPONDANTES A UNE SECTION C ARBITRAIREMENT CHOISIE.

La construction des lignes d'influence des quantités M et X reste exactement celle indiquée pour le cas général de l'arc dissymétrique (§ 45).

Il faut remarquer que, dans le cas particulier qui nous occupe, le polygone funiculaire des efforts fictifs $(y - z'')\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, — et par suite la ligne d'influence de X, qui se confond avec lui, — est symétrique par rapport à la verticale du milieu de la corde de l'arc, parce qu'en raison de l'horizontalité de la droite $o'o'''$, les efforts fictifs $(y - z'')\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ sont deux à deux symétriques par rapport à cette verticale.

Quant à la règle donnée dans le cas général pour le tracé de la ligne d'influence de Y, elle est en défaut lorsque l'arc est symétrique.

En effet, le polygone funiculaire d'où, d'après ce tracé, on doit déduire cette ligne d'influence, correspond à des forces fictives verticales ayant pour valeur générale $(y - z''')\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, où $(y - z''')$ représente les portions de verticales comprises entre la ligne moyenne de l'arc et la droite $o'o''$; or, ici, cette droite se confond avec l'axe vertical de symétrie de l'arc ; donc les segments $y - z'''$, et par suite les forces fictives $(y - z''')\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, sont infinis. Pour la même raison, la longueur $o'''q'''$ est infinie, et il en est de même de la distance polaire B''' qui lui est proportionnelle (§ 45).

Les forces et la distance polaire étant infinies, le polygone funiculaire correspondant est indéterminé. La construction générale est donc illusoire lorsque l'arc est symétrique.

Reprenons les deux dernières formules des groupes (7) et (7') du § 43 (p. 453).

1° *Lorsque la charge mobile se trouve sur la partie d'arc* BC :

$$(a) - (o'''\,q''')\,\varphi'''\;Y = P \overset{D.B}{\underset{D}{MY}} \left[y - \frac{-(d''-d')x + c'd'' - c''d'}{c' - c''} \right] \frac{ds}{I};$$

Lorsque la charge mobile se trouve sur la partie d'arc AC :

$$-(o'''q''')\varphi'''Y=-P\overset{D.A}{\underset{D}{MY}}\left[y-\frac{-(d''-d')x+c'd''-c''d'}{c'-c''}\right]\frac{ds}{I}.$$

s le cas où l'arc est symétrique, les centres o' et o'' étant situés verticale de symétrie, on a

$$c'=c''; \qquad \text{d'où} \qquad c'-c''=0.$$

e part $o'''q'''$ est infini, ainsi qu'il vient d'être dit. Donc, d' étant iellement différent de d'', les formules précédentes se prént sous la forme illusoire

$$\infty=\infty.$$

r lever l'indétermination, chassons le dénominateur $c'-c''$ nplaçons le produit $(o'''q''')(c'-c'')$ par sa valeur résultant rmules (l) et (i) du § 42, savoir :

$$(o'''q''')(c'-c'')=c'd''+c''d'''+c'''d'-c'd'''-c''d'-c'''d'';$$

tenons compte de l'égalité $c'=c''$ et enfin supprimons la quan- $''-d'$) qui apparaît alors en facteur commun ; il vient :

$$-(c'-c''')\varphi'''Y=P\overset{D.B}{\underset{D}{MY}}(x-c')\frac{ds}{I},$$

$$-(c'-c''')\varphi'''Y=-P\overset{D.A}{\underset{D}{MY}}(x-c')\frac{ds}{I}.$$

ons

$$z'''=x-c'.$$

Lorsque la charge mobile se trouve sur la partie d'arc BC :

$$-(c'-c''')\varphi'''Y=P\overset{D.B}{\underset{D}{MY}}\frac{z'''}{I}ds.$$

Lorsque la charge mobile se trouve sur la partie d'arc AC :

$$-(c'-c''')\varphi'''Y=-P\overset{D.A}{\underset{D}{MY}}\frac{z'''}{I}ds.$$

regardant x et z''' comme des coordonnées courantes, l'équa- b) représente une droite mn (*fig. 11*, p. 477) faisant un angle 45° avec la partie positive Cx de l'axe des x, et passant par int d'intersection t de cet axe avec la verticale de symétrie rc.

comparant les relations (1) et (1') avec les troisièmes équa- de chacun des groupes (9) et (9') du § 43, on voit qu'elles diffèrent que par la substitution des quantités $(c'-c''')$ et z''' à $(o'''q''')$ et $(y-z''')$. Par conséquent les deux théorèmes du § 43, cés pour l'arc dissymétrique, restent vrais pour l'arc symé-

trique, à la condition de substituer aux efforts fictifs $\frac{y-z'''}{I}\,ds$, des efforts fictifs égaux à $\frac{z'''}{I}\,ds$, z''' représentant l'ordonnée de la droite qui vient d'être définie.

La construction de la ligne d'influence de Y est donc ramenée au tracé d'une courbe funiculaire correspondante à des efforts fictifs verticaux $\frac{z'''}{I}\,ds$.

On démontrerait comme au § 44 que les tangentes aux extrémités de cette courbe sont parallèles.

Pratiquement on la remplacera par un polygone funiculaire correspondant à des efforts fictifs $z'''\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, polygone que l'on construira conformément aux indications données au § 45 pour le tracé du polygone funiculaire des $(y-z)'''\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$.

Si on a soin de prendre pour distance polaire une longueur

$$B''' = -\frac{(\overline{c'}-\overline{c'''})\,\overline{\Phi'''}}{\overline{P}},$$

les segments de verticales compris entre ce polygone et ses côtés extrêmes parallèles, prolongés jusqu'à la verticale du point C, seront égaux aux ordonnées de la ligne d'influence de Y qu'on obtiendra alors par une translation partielle dudit polygone (§ 45).

LIGNES D'INFLUENCE DES QUANTITÉS M, X ET Y CORRESPONDANTES AUX DIVERSES SECTIONS DE L'ARC

Les indications données pour le cas général, au § 46, s'appliquent encore lorsque l'arc est de structure symétrique, sous la seule condition de remplacer dans le *Théorème II* et dans la *Conclusion*, les forces fictives $(y-z''')\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ par celles $z'''\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ envisagées ci-dessus, et les produits $(o'''q''')\,\varphi'''$ et $(o'''q''')\,\Phi'''$ par ceux $(c'-c''')\,\varphi'''$ et $(c'-c''')\,\Phi'''$. Nous nous bornerons donc à renvoyer à ce paragraphe.

Nous ferons remarquer, toutefois, que la construction des centres

o''_1 et o'''_1 correspondants à une section C_1, — étant donnés ceux o'' et o''' correspondants à une section C, — doit être modifiée, parce que les droites $o'o''$ et $o'o'''$ coïncident respectivement avec $o'x'$ et $o'y'$. Nous nous appuierons encore sur les relations (*f*) du § 46

$$(f) \qquad \frac{o'o''}{o'o''_1} = \frac{\eta_1}{\eta} \quad \text{et} \quad \frac{o'o'''}{o'o'''_1} = \frac{\xi_1}{\xi},$$

qui conduisent immédiatement à la construction suivante (*fig. 12*):

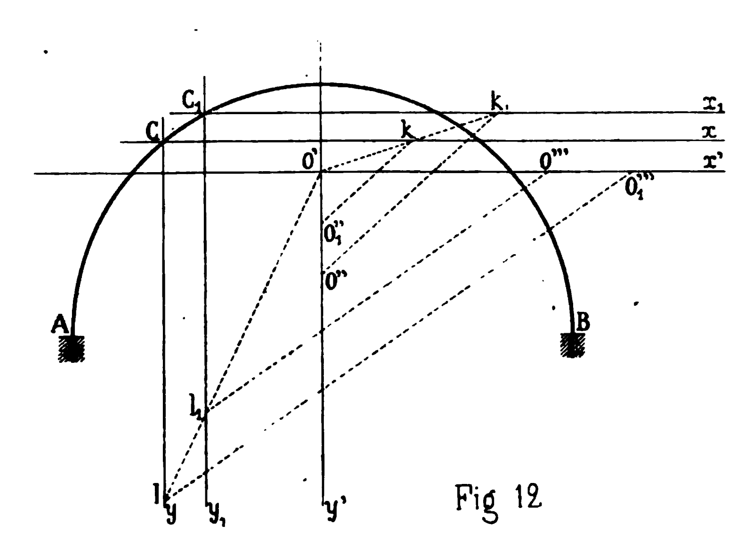


Fig 12

Par o' mener une divergente quelconque qui coupe Cx en k et C_1x_1 en k_1, tirer $o''k_1$ et par k mener à cette ligne une parallèle qui rencontre $o'y'$ au point o''_1 cherché.

De même, par o' mener une divergente quelconque qui coupe Cy en l et C_1y_1 en l_1, tirer $o'''l_1$ et par l mener à cette droite une parallèle qui rencontre $o'x'$ au point o'''_1 cherché.

§ 48. — Ligne d'influence de la tension élastique par unité de surface, développée en un point donné d'une fibre arbitrairement choisie (*).

Proposons-nous de déterminer la ligne d'influence de la tension élastique rapportée à l'unité de surface, développée dans une fibre quelconque donnée de l'arc, à la rencontre d'une section C arbitrairement choisie.

(*) Il est clair que, dans les applications, on n'aura à considérer que les fibres extrêmes supérieures et inférieures, qui sont les plus fatiguées.

Soient : v la distance de cette fibre au centre de gravité de la section, distance qui est positive ou négative, suivant que la fibre considérée est située au-dessous ou au-dessus de la ligne moyenne ; I_c le moment d'inertie et ρ le rayon de giration de cette section autour d'un axe horizontal passant par le centre de gravité ; S_c l'aire de la section ; α l'angle de la partie descendante de la normale en C à la ligne moyenne, avec la verticale descendante de C, — angle qui est positif ou négatif, suivant qu'il est situé à gauche ou à droite de cette verticale.

La force élastique dont il s'agit a pour expression connue

$$R = \frac{vM}{I_c} - \frac{N}{S_c} = \frac{1}{S_c}\left(\frac{vM}{\rho^2} - N\right).$$

Mais on a, d'autre part,

$$N = X \cos \alpha + Y \sin \alpha ;$$

donc,

$$(a) \qquad R = \frac{v}{S_c \rho^2} M - \frac{\cos \alpha}{S_c} X - \frac{\sin \alpha}{S_c} Y.$$

On pourrait déterminer d'abord les lignes d'influence des quantités M, X et Y afférentes à la section C, et en déduire, par la construction plusieurs fois répétée de l'expression (a), autant de points qu'on voudrait de la ligne d'influence de R ; mais cette marche serait assez laborieuse.

Nous allons montrer comment on peut tracer directement la ligne d'influence de R sans passer par l'intermédiaire des lignes d'influence de M, de X et de Y.

Reprenons les équations (9) et (9′) du § 43 ; tirons en M, X et Y, et substituons dans (a) ; il vient, en groupant les termes et en introduisant certains coefficients constants sous le signe $\underset{}{MY}$:

1° *Lorsque le point d'application* D *de la charge mobile se trouve sur la partie d'arc* BC :

$$(b) \quad R = \frac{P}{S_c} \overset{D.B}{\underset{D}{MY}} \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\varphi'} - \cos\alpha \frac{1}{(o''q'')\varphi''} + \sin\alpha \frac{1}{(o'''q''')\varphi'''}\right] y \\ - \left[\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\varphi'} z' - \cos\alpha \frac{1}{(o''q'')\varphi''} z'' + \sin\alpha \frac{1}{(o'''q''')\varphi'''} z'''\right] \end{array} \right\} \frac{ds}{I}.$$

2° *Lorsque le point d'application* D *de la charge mobile se trouve sur la partie d'arc* AC :

$$(b') \quad R = - \frac{P}{S_c} \overset{D.A}{\underset{D}{MY}} \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\varphi'} - \cos\alpha \frac{1}{(o''q'')\varphi''} + \sin\alpha \frac{1}{(o'''q''')\varphi'''}\right] y \\ - \left[\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\varphi'} z' - \cos\alpha \frac{1}{(o''q'')\varphi''} z'' + \sin\alpha \frac{1}{(o'''q''')\varphi'''} z'''\right] \end{array} \right\} \frac{ds}{I}.$$

Posons

$$(c)\quad Z = \frac{\dfrac{vb}{\rho^2} \times \dfrac{1}{(o'q')\,\varphi'}\,z' - \cos\alpha\,\dfrac{1}{(o''q'')\varphi''}\,z'' + \sin\alpha\,\dfrac{1}{(o'''q''')\,\varphi'''}\,z'''}{\dfrac{vb}{\rho^2} \times \dfrac{1}{(o'q')\,\varphi'} - \cos\alpha\,\dfrac{1}{(o''q'')\,\varphi''} + \sin\alpha\,\dfrac{1}{(o'''q''')\,\varphi'''}}\,;$$

les équations (b) et (b') deviennent dès lors :

$$(b_1)\quad R = \frac{P}{S_c}\left(\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\varphi'} - \cos\alpha\,\frac{1}{(o''q'')\varphi''} + \sin\alpha\,\frac{1}{(o'''q''')\,\varphi'''}\right) \overset{D\cdot B}{\underset{D}{MY}} \frac{y - Z}{I}\,ds,$$

$$(b'_1)\quad R = -\frac{P}{S_c}\left(\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\varphi'} - \cos\alpha\,\frac{1}{(o''q'')\varphi''} + \sin\alpha\,\frac{1}{(o'''q''')\,\varphi'''}\right) \overset{D\cdot A}{\underset{D}{MY}} \frac{y - Z}{I}\,ds.$$

Cela posé, si on regarde Z comme une ordonnée courante, l'équation (c) est celle d'une droite rapportée aux axes Cx et Cy, puisque z', z'' et z''' sont des fonctions linéaires en x données par les équations (8) du § 43, lesquelles représentent les trois côtés du triangle formé par le centre fixe o' de la travée et par les centres o'' et o''' correspondants à la section C.

Soit st cette droite (*fig. 13*).

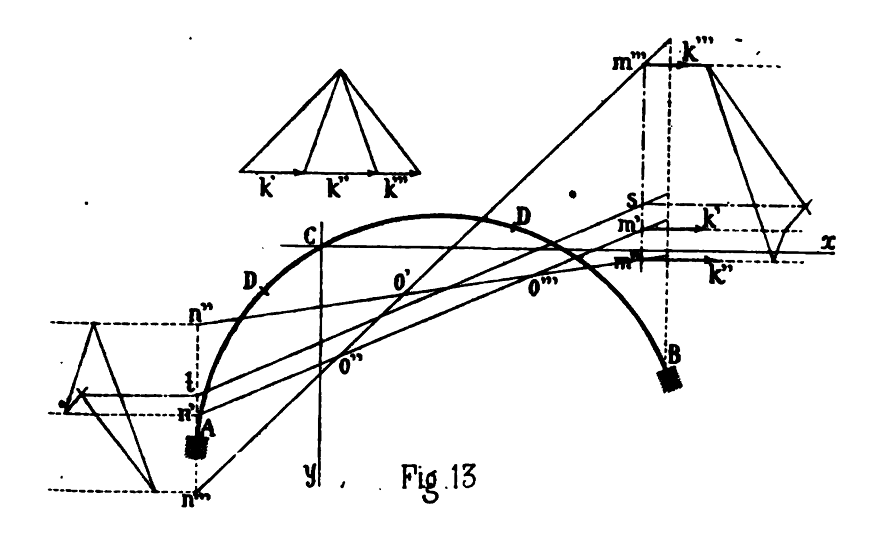


Fig. 13

Dès lors, dans les relations (b_1) et (b'_1), (y — Z) représente les segments de verticales interceptés par la droite (c) et la ligne moyenne de l'arc ; ces segments sont positifs pour les points de la ligne moyenne situés au-dessous de la droite (c) et négatifs pour les autres.

Si on remarque que les coefficients des termes en MY sont

constants pour la section et la fibre considérées, on conclut immédiatement des équations (b_1) et (b'_1) que :

THÉORÈME I. — *Etant donnés un arc* AB *encastré à ses extrémités, parcouru par une charge mobile* P, *et une fibre quelconque de cet arc rencontrée par une section* C *arbitrairement choisie, si on applique, tout le long de la ligne moyenne de l'arc, des forces fictives verticales* $\frac{y - Z}{I} ds$, $(y-Z)$ désignant les segments de verticales compris entre la ligne moyenne et la droite (c) :

1° *La somme des moments par rapport à un point quelconque* D *de la ligne moyenne, situé entre la section* C *et la retombée* B, *des forces fictives* $\frac{y - Z}{I} ds$ *réparties entre* D *et* B, *est proportionnelle à la tension élastique* R *par unité de surface, produite dans la fibre considérée à la rencontre de la section* C, *à l'instant où la charge mobile passe en* D.

2° *La somme des moments par rapport à un point quelconque* D *de la ligne moyenne, situé entre la section* C *et la retombée* A, *des forces fictives réparties entre* D *et* A, *est proportionnelle à la tension élastique* R *par unité de surface, produite dans la fibre considérée à la rencontre de la section* C, *à l'instant où la charge mobile passe en* D.

En se reportant à une propriété connue des courbes funiculaires et à la définition des lignes d'influence, on transforme comme suit le théorème qui précède.

THÉORÈME II. — *Étant donnés un arc encastré à ses deux extrémités, parcouru par une charge mobile* P, *et une fibre quelconque de cet arc rencontrée par une section* C *arbitrairement choisie, si on applique, tout le long de la ligne moyenne de l'arc, des forces fictives* $\frac{y - Z}{I} ds$, *qu'avec une distance polaire arbitraire on construise la courbe funiculaire correspondante, qu'on mène des tangentes aux extrémités de cette courbe et qu'on les limite à la verticale du point* C :

Les segments de verticales compris entre cette courbe et les deux tangentes, sont proportionnels aux ordonnées de la ligne d'influence de la tension élastique R *par unité de surface, produite dans la fibre considérée à la rencontre de la section* C.

Des considérations qui précèdent, il résulte que la détermination des ordonnées de la ligne d'influence de la tension R nécessite seulement :

1° La construction de la droite (c) ;

e tracé d une courbe funiculaire correspondante aux efforts
rerticaux $\frac{y - Z}{I} ds$.

i comment ces opérations peuvent être effectuées :

nstruction de la droite (c) (*). — Supposons qu'on ait déter-
conformément aux indications du § 38, les longueurs Φ',
le centre fixe o' de la travée et les centres o'' et o''' corres-
ts à la section C.

l'équation (c) remplaçons $\varphi', \varphi'', \varphi'''$ par les quantités Φ', Φ'', Φ''',
r sont respectivement proportionnelles, en vertu des for-
2), (3) et (4) du § 38 ; il vient, en posant

$$= \frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\,\Phi'}, \quad k'' = -\frac{\cos\alpha}{(o''q'')\,\Phi''}, \quad k''' = \frac{\sin\alpha}{(o'''q''')\Phi'''} :$$

$$Z = \frac{k'z' + k''z'' + k'''z'''}{k' + k'' + k'''}.$$

idérons maintenant les trois point d'intersection respectifs
et m''' des droites $o''o'''$, $o'o'''$ et $o'o''$, avec une verticale quel-
(*fig. 13*); appliquons en ces points trois forces parallèles d'in-
s égales à k', k'' et k'''. Le centre s de ces forces parallèles ap-
t à la droite (c) ; en effet, dirigeons-les horizontalement et
s-en les moments par rapport au plan horizontal dont la
ur le plan de la ligne moyenne est Cx ; on a, en désignant
ordonnée du point s,

$$k'z' + k''z'' + k'''z''' = (k' + k'' + k''')\,Z ;$$

écisément la relation (c_1).

déterminer géométriquement le point s, formons, à une
quelconque, un polygone des forces horizontales k', k'' et k''',
nt égard à leurs signes ; puis, avec une distance polaire arbi-
traçons le polygone funiculaire correspondant ; l'horizontale
par le point de concours des côtés extrêmes de ce polygone
aire, est la ligne d'action de la résultante ($k' + k'' + k'''$) et
par conséquent, la verticale $m'm''m'''$ au point s cherché.

épétera cette construction relativement aux points d'inter-
n', n'' et n''' des trois droites $o''o'''$, $o'o'''$ et $o'o''$ avec une autre
le, en utilisant d'ailleurs le même polygone des forces ; on
lra ainsi un second point t de la droite (c) qui sera dès lors
.

ourra choisir comme verticales celles des points A et B.

(*) ...r au n° 2 de la *Note I*, un théorème qui fournit un autre mode de construction
...ite (c).

2° Tracé de la courbe funiculaire des efforts fictifs verticaux $\frac{y-Z}{I}$ *ds*.— On divisera la ligne moyenne de l'arc en un certain nombre de parties Δs égales entre elles (*) et on substituera à la courbe funiculaire dont il s'agit, un polygone funiculaire correspondant à des efforts fictif finis $(y-Z)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, ainsi qu'il a déjà été fait au § 45.

Dans les équations (b_1) et (b'_1), remplaçons φ', φ'' et φ''' par leurs valeurs tirées de (2) (3) et (4) du § 38, et introduisons les efforts fictifs finis $(y-Z)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$; il vient

$$(b_2)\quad R=\frac{P}{S_c}\left(\frac{vb}{\rho^2}\times\frac{1}{(o'q')\,\Phi'}-\frac{\cos\alpha}{(o''q'')\,\Phi''}+\frac{\sin\alpha}{(o'''q''')\,\Phi'''}\right)\overset{D.B}{\underset{D}{MY}}(y-Z)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I},$$

$$(b'_2)\quad R=-\frac{P}{S_c}\left(\frac{vb}{\rho^2}\times\frac{1}{(o'q')\Phi'}-\frac{\cos\alpha}{(o''q'')\,\Phi''}+\frac{\sin\alpha}{(o'''q''')\,\Phi'''}\right)\overset{D.A}{\underset{D}{MY}}(y-Z)\frac{\frac{I}{n}I_m}{I}.$$

Remarquons que $\frac{vb}{\rho^2}$, $\cos\alpha$ et $\sin\alpha$ sont des quantités sans dimension, tandis que $(o'q')$, $(o''q'')$, $(o'''q''')$, Φ', Φ'' et Φ''' sont des longueurs; on peut donc poser, en désignant par m et m' deux longueurs, dont l'une peut être choisie arbitrairement,

$$(d)\quad \frac{vb}{\rho^2}\times\frac{1}{(o'q')\,\Phi'}-\frac{\cos\alpha}{(o''q'')\,\Phi''}+\frac{\sin\alpha}{(o'''q''')\,\Phi'''}=k'+k''+k'''=\frac{1}{m\times m'};$$

Posons en outre

$$(e)\quad \frac{P}{S_c}=p;$$

p représente par conséquent la charge P rapportée à l'unité de section transversale S_c.

D'autre part, si, avec une distance polaire arbitraire B, on trace un polygone funiculaire des efforts fictifs $(y-Z)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ et qu'on en prolonge les côtés extrêmes jusqu'à la verticale du point C, on a,

(*) Le nombre des divisions doit être le même que celui adopté pour la construction des centres et des longueurs Φ', Φ'' et Φ''' (§ 38).

en désignant par KH le segment de la verticale d'un point quelconque D de l'arc, intercepté par le polygone et les prolongements des côtés extrêmes :

1° Si le point D *est situé sur la partie d'arc* BC,

$$(f) \qquad + \overset{D.B}{\underset{D}{MY}} (y - Z) \frac{\frac{1}{n} I_m}{I} = B \times KH ;$$

2° Si le point D *est situé sur la partie d'arc* AC,

$$(g) \qquad - \overset{D.A}{\underset{D}{MY}} (y - Z) \frac{\frac{1}{n} I_m}{I} = B \times KH.$$

Les équations (b_2) et (b'_2) deviennent, l'une et l'autre, à cause de (*d*), (*e*), (*f*) et (*g*),

$$(b_3) \qquad R = \frac{p \times B}{m \times m'} \times KH,$$

quelle que soit la position du point d'application D de la charge mobile.

Si nous désignons maintenant par $\frac{1}{f}$ l'échelle des forces et par $\frac{1}{l}$ l'échelle des longueurs, on a, conformément aux notations du § 45 :

$p = \overline{p} \times f$, $B = \overline{B} \times l$, $m = \overline{m} \times l$, $m' = \overline{m'} \times l$, $KH = \overline{KH} \times l$;

d'où, en substituant dans (b_3),

$$(b_4) \qquad R = \left(\frac{\overline{p} \times \overline{B}}{\overline{m} \times \overline{m'}} \times \overline{KH} \right) f.$$

Si, enfin, dans le tracé du polygone funiculaire des $(y - Z) \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, on a eu soin de prendre comme distance polaire, la valeur

$$\overline{B} = \frac{\overline{m} \times \overline{m'}}{\overline{p}}, \qquad (*)$$

on a

$$(b_5) \qquad R = \overline{KH} \times f ;$$

et l'on peut dire, par conséquent, que, dans ces conditions, l'un quelconque des segments de verticales, tel que $\overline{KH}$, représente, *à l'échelle des forces*, la valeur que prend R lorsque la charge mobile P passe à l'aplomb de ce segment, ou, autrement dit, que les seg-

(*) Voir au n° 4 de la *Note I*, une expression plus simple de $\overline{B}$.

ments $\overline{KH}$ sont égaux aux ordonnées de la ligne d'influence de R.

En portant ces ordonnées à partir d'une horizontale quelconque UU′, choisie comme axe des abscisses, on aura la ligne d'influence en question.

On simplifiera cette dernière opération en ayant soin de diriger horizontalement le premier rayon polaire du polygone des forces fictives $(y - Z)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, et de faire coïncider avec UU′ le premier côté du polygone funiculaire correspondant, ainsi que nous l'avons déjà indiqué pour la construction des lignes d'influence de M, de X et de Y (§ 45).

Cas particulier ou l'arc est de structure symétrique par rapport a la verticale du milieu de la corde.

Dans ce cas, les valeurs de M et de X à substituer dans la formule (a), sont encore données par les équations des groupes (9) et (9′) du § 43, mais celle de Y est fournie par les équations (1) et (1′) du § 47 (page 479).

En suivant la marche précédemment exposée, et en conservant les mêmes notations que ci-dessus, on arrive aux équations suivantes :

$$(b_6) \qquad R = \frac{P}{S}\left(\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\Phi'} - \frac{\cos\alpha}{(o''q'')\Phi''}\right) \overset{D.B}{\underset{D}{\mathfrak{M}}} Y (y - Z_1)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I},$$

$$(b'_6) \quad R = -\frac{P}{S_c}\left(\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\Phi'} - \frac{\cos\alpha}{(o''q'')\Phi''}\right) \overset{D.A}{\underset{D}{\mathfrak{M}}} Y (y - Z_1)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I},$$

analogues à celles (b_2) et (b'_2), et où

$$(c_2) \qquad Z_1 = \frac{k'z' + k''z'' + k'''z'''}{k' + k'' + k'''} \times \frac{k' + k'' + k'''}{k' + k''},$$

k', k'' et k''' ayant pour valeurs

$$k' = \frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\Phi'}, \quad k'' = -\frac{\cos\alpha}{(o''q'')\Phi''}, \quad k''' = +\frac{\sin\alpha}{(c'-c''')\Phi'''}.$$

L'équation (c_2) représente une droite ; pour la construire, on déterminera d'abord la droite qui aurait pour équation

$$Z'_1 = \frac{k'z' + k''z'' + k'''z'''}{k' + k'' + k'''},$$

méthode indiquée dans le cas général pour la droite (*c*), en multipliera les ordonnées par le rapport de $k' + k'' + k'''$ $''$.

fait, on posera

$$\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\,\Phi'} - \frac{\cos\alpha}{(o'q'')\,\Phi''} = \frac{1}{m \times m'}$$

$$\frac{P}{S_c} = p.$$

avec une distance polaire $\bar{B} = \dfrac{\bar{m} \times \bar{m}'}{\bar{p}}$, on tracera un poly-

niculaire des efforts fictifs verticaux $(y - Z_1)\,\dfrac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ et on ongera les côtés extrêmes jusqu'à la verticale du point C. egments de verticales, interceptés par ce polygone et ses xtrêmes, seront égaux aux ordonnées de la ligne d'influence qu'il sera dès lors facile de construire.

me nous l'avons dit plus haut, il sera avantageux de di- orizontalement le premier rayon polaire du polygone des

$)\,\dfrac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, et de faire coïncider avec UU′ le côté correspondant ygone funiculaire.

ARQUE. — Il est clair que la méthode que nous venons d'ex- pour la détermination des lignes d'influence des forces ues R, est applicable à la recherche de la ligne d'influence te quantité pouvant être exprimée par une fonction linéaire leurs simultanées de M, de X et de Y.

pourra l'employer, par exemple, pour la construction des d'influence de la tension longitudinale N (*) et de l'effort ant T en une section C quelconque, lesquels sont donnés s formules

$$N = X \cos\alpha + Y \sin\alpha\,,$$
$$T = -X \sin\alpha + Y \cos\alpha\,,$$

les seconds membres sont des fonctions linéaires en X, Y où les coefficients de M ont la valeur particulière 0.

(*) oir Note I, n° 2, corollaire II.

TROISIÈME SECTION

Effets des variations de température.

§ 49.

Proposons-nous de déterminer le moment fléchissant M et les composantes X et Y de la résultante de translation des forces élastiques développées, en une section quelconque C de l'arc, par une variation de température de t^o à partir de celle du montage.

Nous nous servirons des équations (6) du § 42 (page 449).

Choisissons pour direction de X celle de la corde AB de l'arc, ce qui nous conduit à mener l'axe Cx parallèle à cette corde et Cy perpendiculaire (*fig. 14*). Supposons que le centre fixe o' de la travée et les centres o'' et o''' correspondants à la section C et à ces directions d'axes, aient été déterminés par la méthode connue.

Les déplacements linéaires et angulaires qui entrent dans les seconds membres des équations (6) précitées, sont ceux que prendraient, par l'effet des variations de température, les extrémités (1) et (2) des deux tronçons A(1) et B(2) de l'arc supposé coupé suivant la section C.

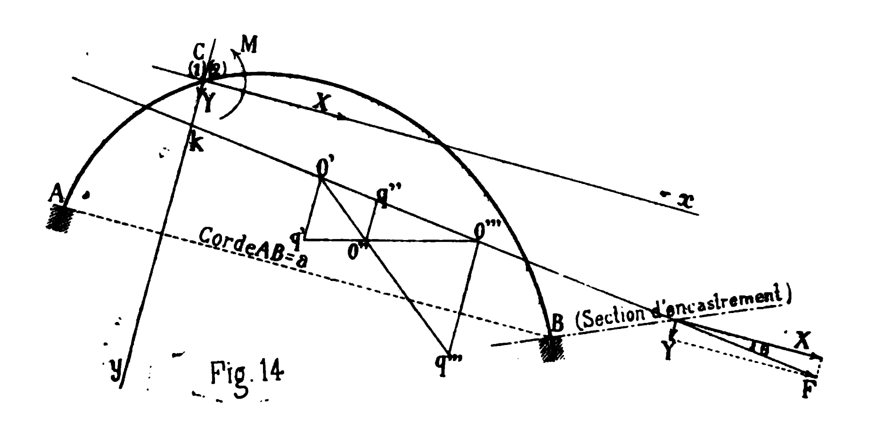


Fig. 14

Ces tronçons étant libres, se déforment en restant géométriquement semblables à eux-mêmes, et on a, en désignant par α le coefficient de dilatation du métal, par x_A et x_B les abscisses des

tés de l'arc, et par $y_A = y_B$ l'ordonnée commune des dites tés,

$$(l'_x)_2 = -\alpha t x_B\ , \qquad (l'_y)_2 = -\alpha t y_B\ , \qquad g'_2 = 0,$$
$$(l'_x)_1 = -\alpha t x_A\ , \qquad (l'_y)_1 = -\alpha t y_A\ , \qquad g'_1 = 0,$$

upposé positif dans le cas d'une élévation de température if dans le cas d'un abaissement.

ituons dans les équations (6), en tenant compte des rela- $=y_A$ et $x_B - x_A = a$, où a représente la longueur de la l'arc ; il vient

$$\frac{M}{b} = \frac{E\alpha t a}{(o'q')\varphi'}\ ,$$
$$X = \frac{E\alpha t a}{(o''q'')\varphi''}\ ,$$
$$Y = -\frac{E\alpha t a}{(o'''q''')\varphi'''}\ .$$

rmules résolvent le problème posé.

QUENCES.—On sait que les produits $(o''q'')\varphi''$ et $(o'''q''')\varphi'''$ restent s, lorsque le point C décrit la ligne moyenne de l'arc et que Cx et Cy se déplacent parallèlement à eux-mêmes. Il en que X et Y sont constants pour toutes les sections de l'arc ; arie. Ce résultat était d'ailleurs évident *a priori*.

ne on peut, en particulier, prendre la section C à l'encastre- de l'arc, on voit que X et Y sont aussi les composantes de ion totale en cet encastrement.

réaction totale ne passe pas par le centre de gravité de la B, puisque l'arc n'est pas articulé ; représentons-la par F .

ÈME. — ***Les lignes d'action des réactions totales développées aux nents de l'arc par une variation de température, coïncident avec*** o′ o‴ (*).

ne ferons la démonstration que pour l'encastrement B. rons toujours une section quelconque C et les axes Cx et is plus haut.

le point d'intersection de Cy avec la ligne d'action de F ; ntons par ζ l'ordonnée CK.

nt la seule force agissant à droite de C, et X et Y en étant nposantes parallèles aux axes, le moment fléchissant M, pour expression

$$M = -X\zeta\ ;$$

au n° 7 de la *Note I*, une transformation de ce théorème.

d'où, à cause de (a) et de (b),

$$\zeta = -\frac{M}{X} = -b \times \frac{(o''q'')\,\varphi''}{(o'q')\,\varphi'};$$

ou, en remplaçant $(o'q')$ et $(o''q'')$ par leurs valeurs tirées des relations (l) du § 42, et φ' et φ'' par leurs expressions (e) du § 37 :

$$\zeta = -\frac{(c'' - c''')\displaystyle\int_A^B \frac{y}{I}\,ds}{(c''' - c')\displaystyle\int_A^B \frac{ds}{I}}.$$

Mais o' étant, par définition, le centre des forces fictives parallèles $\frac{ds}{I}$ appliquées tout le long de l'arc, on a

$$\int_A^B y\frac{ds}{I} = d'\int_A^B \frac{ds}{I},$$

puisque d' est l'ordonnée de ce centre.

Par conséquent

$$\zeta = -\frac{(c'' - c''')\,d'}{c''' - c'} = \frac{c'''d' - c''d'}{c''' - c'}.$$

On vérifie aisément, d'autre part, que $c''d' = c'\,d'''$, car

$$'' = \frac{\displaystyle\int_A^B \frac{xy}{I}\,ds}{\displaystyle\int_A^B \frac{y}{I}\,ds}, \qquad c' = \frac{\displaystyle\int_A^B \frac{x}{I}\,ds}{\displaystyle\int_A^B \frac{ds}{I}},$$

$$d' = \frac{\displaystyle\int_A^B \frac{y}{I}\,ds}{\displaystyle\int_A^B \frac{ds}{I}}, \qquad d''' = \frac{\displaystyle\int_A^B \frac{xy}{I}\,ds}{\displaystyle\int_A^B \frac{x}{I}\,ds}.$$

peut donc écrire la valeur de ζ sous la forme

$$\zeta = \frac{c'''d' - c'd'''}{c''' - c'}.$$

si dans l'équation de la droite $o'o'''$, qui est la seconde du (8) du § 43, on fait $x = 0$, on trouve, pour l'ordonnée à ne de cette droite, la valeur

$$z'' = \frac{c'''d' - c'd'''}{c''' - c'}$$

précisément celle de ζ.

l'on conclut que le point K appartenant par hypothèse à la 'action de F, se trouve sur la droite $o'o'''$.

émontrerait de la même manière, par la considération d'une ection C', qu'un autre point quelconque de cette ligne d'ac- trouve encore sur $o'o'''$.

gne F coïncide donc avec $o'o'''$.

lusion. De ce qui précède, il résulte que la détermination antités M, X et Y, afférentes à toutes les sections de l'arc, être effectuée comme suit :

construira le centre fixe o' de la travée, puis les centres o'' correspondants à une section C arbitrairement choisie (les x et Cy ayant bien entendu les directions indiquées plus t, en même temps, les quantités corrélatives Φ', Φ'' et Φ''' (§ 38).

roite $o'o'''$ sera la ligne d'action commune des résultantes des ns aux encastrements ; ce sera, en particulier, celle de la nte F à l'encastrement de droite B.

calculera ensuite la composante X par la formule (b), ci- , en remplaçant ($o''q''$) par sa valeur mesurée sur l'épure elle des longueurs et φ'' par sa valeur exprimée, en fonction ongueur Φ'', par la formule (3) du § 38, savoir :

$$\varphi'' = \frac{n\Delta s}{I_m}\,\Phi''.$$

lirection de F étant dès lors connue, ainsi que l'intensité de posante X parallèle à la corde de l'arc, la valeur de la com- e Y s'ensuivra, soit par une construction géométrique d'ail- évidente, soit par la formule

$$Y = X \text{ tang } \theta,$$

st l'angle de $o''o'''$ avec la corde de l'arc.

valeurs de X et de Y sont les mêmes pour toutes les sections rc.

Quant au moment fléchissant M en une section C quelconque, il sera donné par la formule (d)

$$M = -X\zeta ,$$

dans laquelle ζ représente le segment de perpendiculaire à la corde AB de l'arc, compris entre le point C et la ligne $o'o'''$, segment qui sera regardé comme positif si C est au-dessus de $o'o'''$, et comme négatif dans le cas contraire.

Cas particulier ou l'arc est de structure symétrique par rapport a la perpendiculaire élevée sur le milieu de la corde. — Dans cette hypothèse, on a vu (§ 47) que la droite $o'o''$ se confondait avec la perpendiculaire menée sur le milieu de la corde; par suite, $o'''q'''$ est infini, et la composante Y est, dès lors, nulle en vertu de la formule (c), dont le numérateur a une valeur finie et dont le terme φ''' n'est pas nul.

La réaction totale F à l'encastrement de droite se réduit donc à X; elle est, par conséquent, parallèle à la corde AB de l'arc. Ce résultat était d'ailleurs évident *a priori*, puisque, dans le cas particulier dont il s'agit, la droite $o'o'''$, qui est précisément la ligne d'action de F, est parallèle à AB (§ 47).

CHAPITRE III

POUTRE DROITE CONTINUE. — POUTRE DROITE ENCASTRÉE

CHARGES MOBILES (*)

Lignes d'influence des moments fléchissants, des efforts tranchants et des réactions des appuis.

§ 50. — Rappel de propriétés connues. — Hypothèses et Définitions.

Principe de la superposition des effets des forces et des dénivellations des appuis. — Si une pièce dont la ligne moyenne est rectiligne avant toute déformation élastique, est posée sur un certain nombre d'appuis qui ne sont pas de niveau et si elle est, en outre, soumise à des charges quelconques, « le moment fléchissant et

(*) L'étude des effets produits par des charges fixes ayant fait l'objet d'un Mémoire précédent (*Calcul des poutres continues. Méthode générale analytique et méthode graphique.* — Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de septembre (1885), nous ne reviendrons pas ici sur cette question.

» l'effort tranchant qui se produisent en un point quelconque, » sous l'influence simultanée de ces charges et des dénivellations » des appuis, s'obtiennent en faisant la somme :

» 1° De ceux que chaque force agissant seule produirait, toutes » les autres étant supprimées et, de plus, tous les appuis étant » supposés de niveau ;

» 2° De ceux qui se produiraient s'il n'agissait aucune force, » par la seule influence des différences de niveau des appuis (*). »

Dans la recherche des lignes d'influence, nous supposerons toujours que les appuis sont de niveau.

Lorsque, en réalité, il n'en sera pas ainsi, il suffira, en vertu du principe précédent, d'ajouter au moment fléchissant et à l'effort tranchant, développés en un point quelconque sous l'action de la charge mobile, les quantités de même nature résultant des dénivellations des appuis.

Nous renvoyons d'ailleurs aux ouvrages classiques pour l'étude de ces dernières quantités.

Convention relative aux signes. — Les positions des différents points de la poutre, avant et après la déformation élastique, seront rapportées, dans chaque travée, à l'horizontale des appuis comme axe des x, et à la verticale de l'appui de gauche de la travée comme axe des y ; le sens des x positifs sera celui de la gauche vers la droite ; le sens des y positifs sera celui de la verticale descendante.

Il résulte de là qu'un segment donné de la droite des appuis devra être considéré comme positif ou comme négatif, suivant qu'il sera parcouru de la gauche vers la droite ou de la droite vers la gauche.

Les forces verticales seront affectées du signe $+$ ou du signe $-$ suivant qu'elles seront descendantes ou ascendantes.

Enfin, quand nous rapporterons un diagramme ou une courbe quelconque, à une horizontale comme axe des abscisses et à une verticale comme axe des ordonnées, le sens des abscisses positives sera celui de la gauche vers la droite, et le sens des ordonnées positives sera celui de la verticale descendante.

Points trisecteurs. — Résultantes trisectrices. — Si, en chaque point d'une travée quelconque, celle l_i par exemple, on applique une force fictive verticale, ayant pour inten-

(*) Maurice Lévy. — *Statique graphique :* IIe partie, p. 167.

sité $\frac{x}{I}\,dx$, x étant l'abscisse de ce point rapportée à l'appui de gauche A_{i-1} de la travée *(fig. 15)*, la ligne d'action de la résultante de

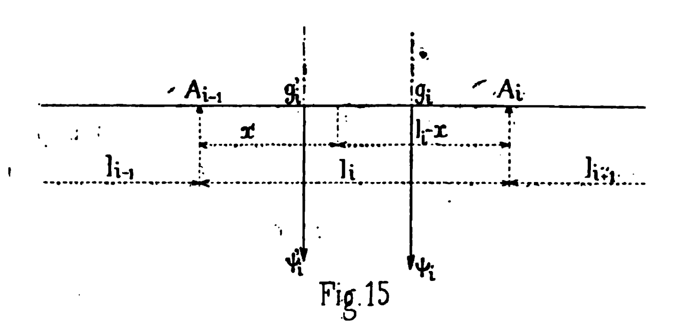


Fig. 15

ces forces est dite ***verticale trisectrice de droite***, et le point d'intersection g_i de cette ligne avec $A_{i-1}A_i$ est le ***point trisecteur de droite.***

La résultante des forces fictives $\frac{x}{I}\,ds$, que nous appellerons ***résultante trisectrice de droite***, a pour valeur

$$(a) \qquad \psi_i = \int_0^{l_i} \frac{x}{I}\,dx,$$

et l'abscisse du point trisecteur de droite est égale à

$$(b) \qquad A_{i-1}g_i = \frac{\int_0^{l_i} \frac{x^2}{I}\,dx}{\int_0^{l_i} \frac{x}{I}\,dx}.$$

De même, si on applique, tout le long de la travée, des forces fictives verticales $\frac{l_i - x}{I}\,dx$, la ligne d'action de leur résultante est dite ***verticale trisectrice de gauche*** et le point d'intersection g'_i de cette ligne avec $A_{i-1}A_i$ est le ***point trisecteur de gauche.***

résultante de ces forces fictives, que nous appellerons *résul-trisectrice de gauche*, a pour valeur

$$\psi'_i = \int_0^{l_i} \frac{l_i - x}{I} dx,$$

bscisse du point trisecteur de gauche est égale à

$$A_{i-1}g'_i = \frac{\int_0^{l_i} \frac{(l_i - x)x}{I} dx}{\int_0^{l_i} \frac{l_i - x}{I} dx}.$$

nstruction des verticales trisectrices et des valeurs des résultantes trices. — Considérons, par exemple, la verticale trisectrice uche de la travée de rang *i*.

l'on trace une courbe funiculaire correspondante aux efforts s verticaux $\frac{(l_i - x)}{I} dx$, répartis tout le long de la travée, les ntes aux extrémités de cette courbe se couperont en un point résultante des dites forces fictives, c'est-à-dire sur la verticale trice de gauche.

atiquement, on opérera conformément aux indications données 38 pour la construction des *centres* de l'arc encastré : on divi-la travée en un certain nombre de parties Δx égales entre (*), au milieu de chacune desquelles on appliquera un effort égal à $(l_i - x)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ (x étant l'abscisse du point milieu de la ion considérée, I le moment d'inertie de la section de la re en ce point, I_m le moment d'inertie d'une section arbitrai-nt choisie, et n un nombre quelconque); puis, partant du A_{i-1}, on tracera un polygone de ces efforts *(fig. 16)*, lequel duit à une droite $A_{i-1}a_{i-1}$; enfin, avec une distance polaire conque, on construira le polygone funiculaire correspondant.

(*) Pour la simplicité des déterminations ultérieures, il conviendra de choisir, pour la eur Δx, une commune mesure des portées de toutes les travées de la poutre. Cette une mesure existe en général, car il est d'usage de constituer les poutres ues de panneaux d'égale largeur. Δx sera donc égal soit à la largeur totale d'un au, soit à une partie aliquote de cette largeur.

Les côtés extrêmes de ce polygone se couperont en un point γ appartenant à la verticale trisectrice cherchée.

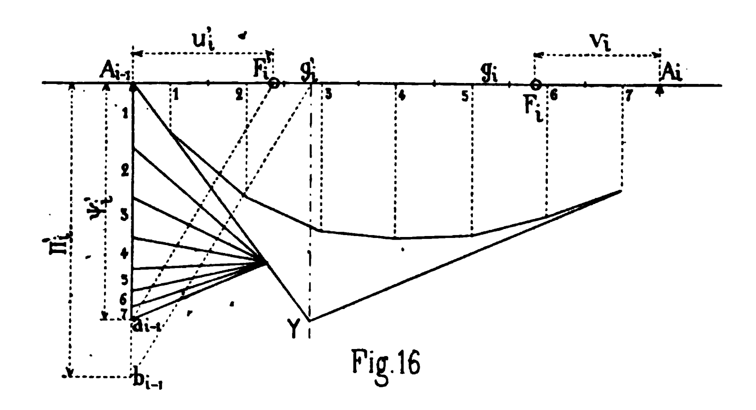


Fig. 16

La verticale trisectrice de droite se construira de la même manière, mais en partant d'efforts fictifs égaux à $x\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$.

Nous représenterons par Ψ'_i la longueur $A_{i-1}a_{i-1}$ du polygone des efforts fictifs $(l_i-x)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ (*); elle est égale à

$$\Psi'_i=\sum_0^{l_i}(l_i-x)\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}=\frac{I_m}{n\Delta x}\sum_0^{l_i}\frac{(l_i-x)}{I}\Delta x;$$

ou, à la substitution près de l'intégrale $\int_0^{l_i}\frac{l_i-x}{I}dx$ à la somme $\sum_0^{l_i}\frac{(l_i-x)}{I}\Delta x$,

$$(c')\qquad \Psi'_i=\frac{I_m}{n\Delta x}\int_0^{l_i}\frac{l_i-x}{I}dx=\frac{I_m}{n\Delta x}\psi'_i.$$

(*) On remarquera que Ψ'_i est une *longueur*; en effet, les efforts fictifs dont cette quantité représente la somme, sont des longueurs, puisque n est un *nombre* et $\frac{I_m}{I}$ un *rapport*.

De même, la longueur Ψ_i du polygone des forces fictives $x\dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ est égale à

$$(c) \qquad \Psi_i = \frac{I_m}{n\Delta x}\,\psi_i.$$

Des deux formules qui précèdent on tire les valeurs suivantes des résultantes trisectrices ψ'_i et ψ_i :

$$(d') \qquad \psi'_i = \frac{n\Delta x}{I_m}\,\Psi'_i.$$

$$(d) \qquad \psi_i = \frac{n\Delta x}{I_m}\,\Psi_i.$$

Foyers ou Points fixes. — Si la partie d'une poutre A_0A_n à appuis de niveau, comprise entre un appui quelconque A_k et l'un des appuis extrêmes, ne supporte aucune charge, quelles que soient les

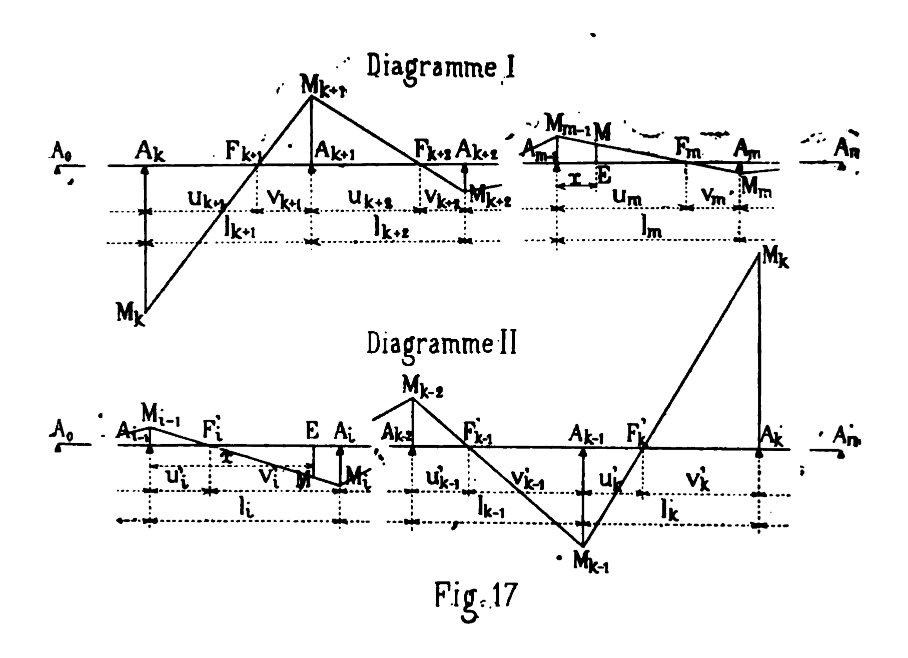


Fig. 17

charges agissant sur le restant de la poutre, — c'est-à-dire quelle que soit la valeur du moment fléchissant sur l'appui A_k, — le dia-

gramme des moments fléchissants, dans la partie non chargée, est une ligne polygonale concave dont les sommets se trouvent sur les verticales des appuis, alternativement au-dessus et au-dessous desdits appuis, et dont les côtés coupent la droite A_0A_n une fois dans chaque travée, en des points dits ***Points fixes*** ou ***Foyers.***

Suivant que la partie non chargée est contiguë à l'appui extrême de droite, ou au contraire à l'appui extrême de gauche, les foyers correspondants se trouvent dans la moitié de droite de chaque travée (diagramme I, *fig. 17*), ou au contraire dans la moitié de gauche (diagramme II).

Dans le premier cas, ils portent le nom de *foyers de droite*, dans le second, celui de *foyers de gauche.*

Il y a donc dans toute travée, celle l_i par exemple, deux foyers, l'un de droite F_i, l'autre de gauche F'_i (*fig. 18*).

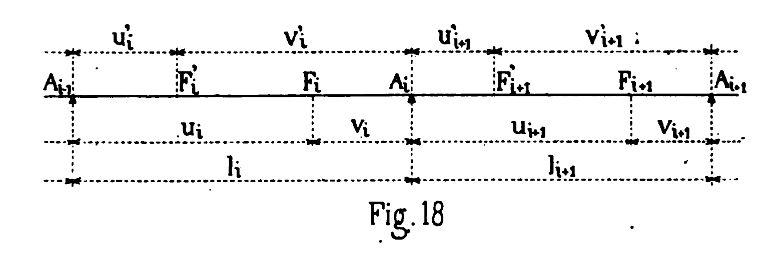


Fig. 18

Nous définirons la position de ces points par leurs distances essentiellement positives u_i et v_i, u'_i et v'_i, aux appuis de la travée à laquelle ils appartiennent.

Il résulte de ce qui précède et de l'examen du diagramme I (*fig. 17*), que si la partie de poutre A_kA_n est vide de charges, le moment fléchissant en un point quelconque E d'abscisse x, appartenant à une travée de rang $m > k$, est donné, en fonction du moment M_k sur l'appui A_k, par l'expression

$$(1) \qquad M = M_k \times \rho_{k+1} \times \rho_{k+2} \times \ldots\ldots \times \rho_{m-1} \times \frac{u_m - x}{u_m},$$

dans laquelle

$$\rho_{k+1} = \frac{-v_{k+1}}{u_{k+1}}, \ldots\ldots\ldots \rho_{m-1} = \frac{-v_{m-1}}{u_{m-1}},$$

en convenant de supprimer les facteurs ρ quand le point E est dans la travée du rang $k+1$.

Si, au contraire, c'est la partie A_0A_k qui est vide de charges, (diagramme II) le moment fléchissant en un point quelconque E d'abscisse x, appartenant à une travée de rang $i < k+1$, est donné par la formule

$$(2) \qquad M = M_k \times \rho'_k \times \rho'_{k-1} \times \ldots\ldots \rho'_{i+1} \times \frac{x - u'_i}{v'_i},$$

dans laquelle

$$\rho'_k = \frac{-u'_k}{v'_k}, \ldots\ldots\ldots \rho'_{i+1} = \frac{-u'_{i+1}}{v'_{i+1}},$$

en convenant de supprimer les facteurs ρ quand le point E est dans la travée de rang k.

Rappelons enfin que les distances des foyers de droite de deux travées consécutives aux appuis des dites travées sont liées entre elles par la relation suivante (*) :

$$(3) \quad \frac{1}{v_i l_i}\int_0^{l_i} \frac{(x-u_i)x dx}{EI} + \frac{1}{u_{i+1} l_{i+1}}\int_0^{l_{i+1}} \frac{(u_{i+1}-x)(l_{i+1}-x)}{EI} dx = 0.$$

Si on remplace dans le premier terme u_i par $l_i - v_i$, il vient

$$(3\,bis) \qquad \frac{1}{v_i l_i}\int_0^{l_i} \frac{(l_i - x)x dx}{EI} + \frac{1}{u_{i+1} l_{i+1}}\int_0^{l_{i+1}} \frac{x(l_{i+1}-x)dx}{EI}$$

$$= \frac{1}{l_i}\int_0^{l_i} \frac{x dx}{EI} + \frac{1}{l_{i+1}}\int_0^{l_{i+1}} \frac{(l_{i+1}-x)dx}{EI}.$$

(En changeant u et v en u' et v', on obtient les relations analogues relatives aux foyers de gauche.)

D'autre part, le foyer de droite de la travée de rive droite et le foyer de gauche de la travée de rive gauche sont connus *a priori*; en effet :

Si la poutre repose librement sur ses appuis extrêmes, les foyers en question coïncident avec ces appuis, en sorte qu'on a : $u_n = l_n$ $v_n = o$; $u'_1 = o$, $v'_1 = l_1$;

Si elle est encastrée à ses extrémités, le foyer de droite de la travée de rive droite coïncide avec le point trisecteur de droite de cette travée, et le foyer de gauche de la travée de rive gauche coïncide avec le point trisecteur de gauche de cette travée, en sorte qu'on a : $u_n = A_{n-1}g_n$, $u'_1 = A_0 g'_1$.

(*) Maurice Lévy, *Statique graphique* : II[e] partie, p. 303.

La détermination des foyers de droite s'effectue au moyen de l'équation (3 *bis*) où l'on fait successivement $i = n - 1, n - 2$, etc... 1, et où l'on introduit les valeurs de u_n indiquées précédemment.

Même marche pour les foyers de gauche.

Ces déterminations peuvent également être faites très rapidement par des constructions géométriques simples. Nous renvoyons à ce sujet à la *Statique graphique* de M. Maurice Lévy et à notre travail précédent sur les Poutres continues, que nous avons déjà cités.

Composantes aux foyers. — Décomposons la résultante trisectrice de gauche ψ'_i de la travée de rang i, en deux forces parallèles appliquées, l'une à l'appui de gauche A_{i-1}, l'autre au foyer de gauche F'_i (*fig. 16*, page 498).

Nous appellerons cette seconde force *Composante au foyer de gauche*, et nous la représentons par π'_i.

En effectuant une décomposition similaire relativement à la résultante trisectrice de droite, à l'appui de droite A_i et au foyer de droite F_i, on obtient la *Composante au foyer de droite*.

Si on prend les moments autour du point A_{i-1}, on voit que la composante au foyer de gauche a pour valeur

$$(e') \qquad \pi'_i = \frac{A_{i-1}g'_i \times \psi'_i}{u'_i}.$$

On trouve de même, pour expression de la composante au foyer de gauche,

$$(e) \qquad \pi_i = \frac{g_i A_i \times \psi_i}{v_i}.$$

Pratiquement, au lieu de faire porter les décompositions sur les résultantes ψ'_i et ψ_i, nous opérerons sur les quantités connues Ψ'_i et Ψ_i, qui ne diffèrent de ces résultantes que par le facteur constant $\frac{I_m}{n\Delta x}$ [*formules* (*c'*) et (*c*), pages 498 et 499] ; de sorte qu'en posant

$$(f') \qquad \Pi'_i = \frac{I_m}{n\Delta x}\pi'_i \qquad \text{et} \qquad (f) \qquad \Pi_i = \frac{I_m}{n\Delta x}\pi_i,$$

on aura

$$\Pi'_i = \frac{A_{i-1}g'_i \times \Psi'_i}{u'_i} \quad \text{et} \quad \Pi_i = \frac{g_i A_i \times \Psi_i}{v_i}. \ (*)$$

(*) Il faut remarquer que, Ψ'_i et Ψ_i étant des *longueurs*, les quantités Π'_i et Π_i sont également des *longueurs*.

Ce sont ces dernières quantités qu'il importe de connaître pour la suite.

Voici comment on peut les construire : pour fixer les idées, considérons celle Π'_i ; menons (*fig. 16*, page 498) la droite $F'_i a_{i-1}$, et par g'_i conduisons-lui une parallèle qui coupe la verticale $A_{i-1}a_{i-1}$ en un point b_{i-1} ; on a

$$A_{i-1}b_{i-1} = \frac{A_{i-1}g'_i \times A_{i-1}a_{i-1}}{A_{i-1}F'_i} = \frac{A_{i-1}g'_i \times \Psi'_i}{u'_i} = \Pi'_i,$$

quantité cherchée.

Nota. — Dans l'exposé qui va suivre, nous supposerons déterminés les points trisecteurs, les foyers et la composante au foyer de gauche de chaque travée.

§ 51. — Expressions du moment fléchissant et de l'effort tranchant produits en une section quelconque par des charges données. — Centre fixe d'une travée ; centre correspondant à une section.

Soit C le centre de gravité de la section considérée (*fig.* 19). Les forces intérieures ou élastiques, développées dans cette section, considérées comme actions du tronçon A_nC sur le tronçon A_0C, sont réductibles à un couple dont l'axe a pour valeur le moment de flexion M et à une force égale à l'effort tranchant T, en C.

Imaginons qu'on coupe la poutre suivant la section C ; les deux tronçons A_0C, A_nC vont se déformer et leurs extrémités respectives (1) et (2) ne resteront pas en contact. Si maintenant nous appliquons 1° à l'extrémité (1) du tronçon A_0C, un couple $+M$ et une force $+T$, 2° à l'extrémité (2) du tronçon A_nC, un couple $-M$ et une force $-T$, ces quatre efforts, agissant en tant que forces extérieures sur les deux tronçons, auront pour effet de ramener en coïncidence les extrémités (1) et (2), et par suite de rendre à l'ensemble de la poutre la forme qu'elle affectait avant la coupure.

De là résulte la méthode suivante pour la détermination de M et de T : on coupera la poutre en C, puis on calculera les déplacements linéaires et angulaires *absolus* des extrémités (1) et (2) des tronçons ainsi formés, sous l'action des forces extérieures données, et on en déduira les déplacements *relatifs* de ces extrémités. Cela

fait, on appliquera : 1° à l'extrémité (1), des efforts inconnus $+$ M, $+$ T; 2° à l'extrémité (2), des efforts — M, — T, égaux et contraires

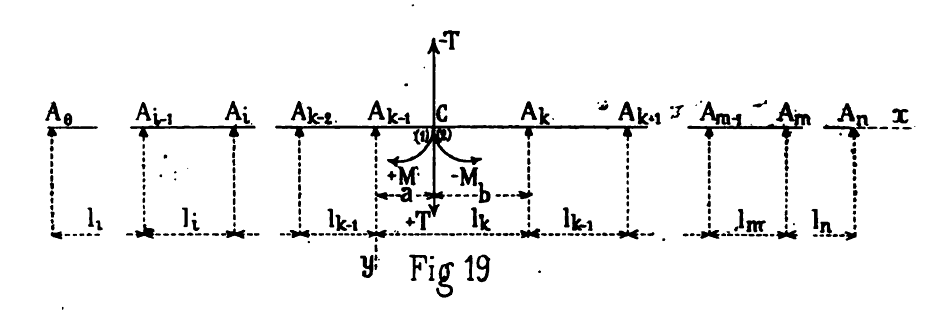


Fig 19

aux premiers. Enfin, on déterminera ces efforts en exprimant que les déplacements linéaire et angulaire *relatifs*, par eux imprimés aux extrémités (1) et (2), sont égaux et contraires à ceux produits par les forces extérieures.

Soient :

g'_1, $(l'_y)_1$, les déplacements angulaire et linéaire absolus imprimés à la section (1) par celles des forces extérieures qui agissent sur le tronçon A_0 (1) supposé séparé du reste de la poutre;

g'_2, $(l'_y)_2$, les déplacements de même nature de la section (2), produits par celles des forces extérieures qui agissent sur le tronçon A_n (2).

Les déplacements, sous l'action des forces extérieures, de l'extrémité (2) *relativement* à l'extrémité (1), ont pour valeurs :

$$g'_2 - g'_1 \,; \quad (l'_y)_2 - (l'_y)_1 \,.$$

Soient, de même :

g''_1, $(l''_y)_1$, les déplacements angulaire et linéaire absolus qu'imprimeraient à l'extrémité (1) les efforts $+$ M, $+$ T agissant seuls sur le tronçon A_0(1), supposé détaché du reste de la poutre ;

g''_2, $(l''_y)_2$, les déplacements similaires qu'imprimeraient à l'extrémité (2) du tronçon A_n (2) les efforts — M, — T, y appliqués.

Les déplacements, sous l'action de $+$ M, $+$T, — M, — T, de l'extrémité (2), *relativement* à celle (1), ont pour valeurs:

$$g'' - g''_1 \,; \quad (l''_y)_2 - (l''_y)_1 \,.$$

D'après ce qui a été dit précédemment, on a

$$(a)\quad \begin{cases} g'_2 - g'_1 + g''_2 - g''_1 = 0, \\ (l'_y)_2 - (l'_y)_1 + (l''_y)_2 - (l''_y)_1 = 0. \end{cases}$$

Calculons, au moyen des formules (I) et (III) du § 32, les déplacements g''_1, g''_2, $(l''_y)_1$, $(l''_y)_2$. Dans l'application de ces formules, nous considérerons comme liaisons indépendantes de l'élasticité celles qui imposent : 1° dans le tronçon A_0 (1), la fixité des points A_{k-1}, A_{k-2}, dans le sens vertical; 2° dans le tronçon A_n (2), la fixité des points A_k, A_{k+1}. Nous avons, en conséquence, en désignant d'une manière générale par M'' les moments fléchissant produits soit dans le tronçon A_0 (1) par les efforts $+M$, $+T$ agissant seuls, soit dans le tronçon A_n (2) par les efforts $-M$, $-T$ agissant seuls :

$$g''_1 = + \underset{c}{\overset{C.\bar{A}_{k-2}}{T}} \frac{M''}{EI} dx, \qquad g''_2 = - \underset{c}{\overset{C.\bar{A}_{k+}}{T}} \frac{M''}{EI} dx,$$

$$(l''_y)_1 = - \underset{c}{\overset{C.\bar{A}_{k-2}}{MY}} \frac{M''}{EI} dx, \qquad (l''_y)_2 = + \underset{c}{\overset{C.\bar{A}_{k+1}}{MY}} \frac{M''}{EI} dx$$

d'où :

$$g''_2 - g''_1 = - \underset{c}{\overset{\bar{A}_{k-2}.\bar{A}_{k+1}}{T}} \frac{M''}{EI} dx,$$

$$(l''_y)_2 - (l''_y)_1 = + \underset{c}{\overset{\bar{A}_{k-2}.\bar{A}_{k+1}}{MY}} \frac{M''}{EI} dx.$$

Désignons par μ^M le moment fléchissant que produirait, soit en un point quelconque du tronçon A_0 (1), un couple $+1$ appliqué à l'extrémité (1) de ce tronçon, soit en un point quelconque du tronçon A_n (2), un couple -1 appliqué à l'extrémité (2) de ce tronçon, et par μ^T les quantités similaires correspondant, soit à l'application d'un effort vertical $+1$ en (1), soit à l'application d'un effort vertical -1 en (2); on a

$$M'' = M\mu^M + T\mu^T;$$

d'où :

$$(b)\quad \begin{cases} g''_2 - g''_1 = -M \underset{c}{\overset{\bar{A}_{k-2}.\bar{A}_{k+1}}{T}} \frac{\mu^M}{EI} dx - T \underset{c}{\overset{\bar{A}_{k-2}.\bar{A}_{k+1}}{T}} \frac{\mu^T}{EI} dx, \\ (l''_y)_2 - (l''_y)_1 = +M \underset{c}{\overset{\bar{A}_{k-2}.\bar{A}_{k+1}}{MY}} \frac{\mu^M}{EI} dx + T \underset{c}{\overset{\bar{A}_{k-2}.\bar{A}_{k+1}}{MY}} \frac{\mu^T}{EI} dx. \end{cases}$$

Les diagrammes des moments μ^M et μ^T sont représentés respectivement par les figures 4 et 5 (Pl. 201).

Soient a et b les distances ***essentiellement positives*** du point C aux appuis A_{k-1} et A_k.

Dans la partie en porte-à-faux A_{k-1} (1) du tronçon A_0 (1), le moment μ^M est constant et égal à $+1$, tandis que le moment μ^T, nul au point (1), croît linéairement jusqu'en A_{k-1}, où il atteint la valeur $+a$.

Dans la partie $A_{k-1}\,A_0$, *qui est vide de charges*, les diagrammes des moments μ^M et μ^T sont des lignes polygonales concaves, dont les sommets se trouvent sur les verticales des appuis et dont les côtés coupent les travées en leurs foyers de *gauche* (§ 50. — ***Foyers ou Points fixes***).

Dans la partie en porte-à-faux A_k (2) du tronçon A_n (2), le moment μ^M est encore constant et égal à $+1$, tandis que le moment μ^T, nul au point (2), décroît linéairement jusqu'au point d'appui A_k, où sa valeur est $-b$.

Dans la partie $A_k\,A_n$, *qui est vide de charges*, les diagrammes des moments μ^M et μ^T sont des lignes polygonales concaves, dont les sommets se trouvent sur les verticales des appuis et dont les côtés coupent les travées en leurs foyers de *droite*.

Cela posé, remarquons que les expressions,

$$\overset{\overline{A}_{k-2}.\overline{A}_{k+1}}{\underset{C}{T}}\ \frac{\mu^M}{I}\,dx, \qquad \overset{\overline{A}_{k-2}.\overline{A}_{k+1}}{\underset{C}{T}}\ \frac{\mu^T}{I}\,dx,$$

qui entrent dans les formules (b), représentent les résultantes respectives des efforts fictifs verticaux $\frac{\mu^M}{I}dx$, $\frac{\mu^T}{I}dx$, appliqués entre A_{k-2} et A_{k+1}, et des réactions fictives correspondantes en A_{k-2} et en A_{k+1} ; tandis que les expressions

$$\overset{\overline{A}_{k-2}\ \overline{A}_{k+1}}{\underset{C}{\mathcal{M}}}Y\ \frac{\mu^M}{I}dx, \qquad \overset{\overline{A}_{k-2}\ \overline{A}_{k+1}}{\underset{C}{\mathcal{M}}}Y\ \frac{\mu^T}{I}dx,$$

représentent les sommes des moments de ces mêmes efforts par rapport au point C, ou, ce qui revient au même, les moments de leurs résultantes.

Soient :

φ_k, φ'_k, les valeurs respectives des résultantes en question ;

O_k, O'_k, les points d'intersection de leurs lignes d'action avec la droite A_oA_n, points que nous appellerons : le premier, ***centre fixe de la travée***; le second, ***centre correspondant au point*** C;

c_k, c'_k, les abscisses de ces centres relativement au point C pris pour origine, abscisses mesurées positivement de C vers A_n, négativement de C vers A_o.

On a

$$\int_{C}^{\overline{A}_{k-2}.\overline{A}_{k+1}} \frac{\mu^{M}}{I}\,dx = \varphi_k, \qquad \int_{C}^{\overline{A}_{k-2}.\overline{A}_{k+1}} \frac{\mu^{T}}{I}\,dx = \varphi'_k,$$

$$\int_{C}^{\overline{A}_{k-2}.\overline{A}_{k+1}} x\,\frac{\mu^{M}}{I}\,dx = c_k\varphi_k, \qquad \int_{C}^{\overline{A}_{k-2}\,\overline{A}_{k+1}} x\,\frac{\mu^{T}}{I}\,dx = c'_k\varphi'_k;$$

et les formules (b) deviennent dès lors

$$(b') \quad \left\{ \begin{array}{l} g''_2 - g''_1 = (-\varphi_k M - \varphi'_k T)\,\dfrac{1}{E}, \\ (l''_y)_2 - (l''_y)_1 = (+c_k\varphi_k M + c'_k\varphi'_k T)\,\dfrac{1}{E}. \end{array} \right.$$

Ces expressions substituées dans les équations (a) donnent

$$\varphi_k M + \varphi'_k T = E(g'_2 - g'_1),$$
$$c_k\varphi_k M + c'_k\varphi'_k T = -E\big((l'_y)_2 - (l'_y)_1\big);$$

D'où l'on tire

$$(4) \quad \left\{ \begin{array}{l} M = \dfrac{c'_k E\,(g'_2 - g'_1) + E\,\big((l'_y)_2 - (l'_y)_1\big)}{(c'_k - c_k)\,\varphi_k}, \\[2ex] T = \dfrac{-E\big((l'_y)_2 - (l'_y)_1\big) - E\,c_k(g'_2 - g'_1)}{(c'_k - c_k)\,\varphi'_k}. \end{array} \right.$$

Ces formules font connaître M et T en fonction des déplacements linéaires et angulaires que les forces extérieures imprimeraient aux sections extrêmes (1) et (2) des tronçons A_o (1) et A_n (2) de la poutre supposée coupée en C.

Avant de les appliquer au cas d'une charge mobile, nous allons étudier les propriétés des centres et calculer les valeurs des produits $(c'_k - c_k)\,\varphi_k$ et $(c'_k - c_k)\varphi'_k$.

§ 52 — Propriétés et détermination des Centres.

Lemme. — *η représentant les ordonnées du diagramme formé : 1° dans une travée de rang k, arbitrairement choisie* (fig. 6, pl. 201), *par une divergente quelconque $A_{k-1}B_k$ issue de l'appui de gauche A_{k-1} et limitée à son point d'intersection avec la verticale de l'appui de droite A_k; 2° dans la travée de rang $k+1$, par une droite joignant ce point d'intersection au foyer de droite F_{k+1} de cette travée, et prolongée jusqu'à la verticale de l'appui de droite de la dite travée :*

Si on applique, tout le long de ces deux travées, des efforts fictifs verticaux $\frac{\eta}{I}dx$, la résultante de ces efforts et de la réaction fictive qu'ils développent sur l'appui A_{k+1} de la travée de rang $k+1$ supposée indépendante de celle de rang k, passe par le foyer de droite de la travée de rang k.

Le foyer de gauche de la travée de rang k jouit de la même propriété relativement à la résultante des efforts fictifs correspondant à un diagramme analogue au précédent, et formé, dans la travée de rang k, d'une divergente issue de l'appui de droite A_k, et dans la travée de rang $k-1$ d'une droite passant par le foyer de gauche F'_{k-1} de ladite travée.

Nous ne diminuerons en rien la généralité de la démonstration en dirigeant la divergente $A_{k-1}B_k$, de manière que $A_kB_k = +1$.

En un élément dx, d'abscisse x, de la travée l_k, la force fictive $\frac{\eta}{I}dx$ a pour valeur

$$\frac{1}{l_k}\ \frac{xdx}{I}.$$

En un élément analogue de la travée l_{k+1}, elle est égale à

$$\frac{1}{u_{k+1}} \times \frac{u_{k+1}-x}{I}\ dx.$$

La réaction fictive en A_{k+1} s'obtient en prenant les moments, par rapport à A_k, des forces fictives agissant dans la travée l_{k+1}; elle a pour expression

$$-\frac{1}{l_{k+1}}\int_0^{l_{k+1}} \frac{1}{u_{k+1}}\,\frac{(u_{k+1}-x)xdx}{I}.$$

Enfin, la résultante ε_k des forces fictives réparties entre A_{k-1} et A_{k+1}, ainsi que de la réaction fictive en ce dernier point, a pour valeur

$$\varepsilon_k = \frac{1}{l_k}\int_0^{l_k} \frac{x}{I} dx + \int_0^{l_{k+1}} \frac{1}{u_{k+1}} \frac{u_{k+1} - x}{I} dx - \frac{1}{l_{k+1}}\int_0^{l_{k+1}} \frac{1}{u_{k+1}} \frac{(u_{k+1} - x) x dx}{I}$$

$$= \frac{1}{l_k}\int_0^{l_k} \frac{x}{I} dx + \frac{1}{u_{k+1} l_{k+1}} \int_0^{l_{k+1}} \frac{(u_{k+1} - x)(l_{k+1} - x)}{I} dx.$$

Cherchons l'abscisse ξ du point d'application de cette résultante relativement au point d'appui A_k considéré comme origine; à cet effet, prenons les moments par rapport à ce dernier point. On a, en remarquant que la somme des moments des forces fictives réparties sur la travée l_{k+1} et de la réaction fictive en A_{k+1} est nulle,

$$(d) \qquad \xi \varepsilon_k = -\frac{1}{l_k}\int_0^{l_k} \frac{x(l_k - x)}{I} dx,$$

ou, en remplaçant ε_k par sa valeur,

$$\xi \left[\frac{1}{l_k}\int_0^{l_k} \frac{x}{I} dx + \frac{1}{u_{k+1} l_{k+1}} \int_0^{l_{k+1}} \frac{(u_{k+1} - x)(l_{k+1} - x)}{I} dx\right]$$

$$= -\frac{1}{l_k}\int_0^{l_k} \frac{x(l_k - x)}{I} dx.$$

En groupant les intégrales qui ont mêmes limites, on peut mettre cette équation sous la forme suivante :

$$-\frac{1}{\xi l_k}\int_0^{l_k} \frac{x[x - (l_k + \xi)]}{I} dx + \frac{1}{u_{k+1} l_{k+1}} \int_0^{l_{k+1}} \frac{(u_{k+1} - x)(l_{k+1} - x)}{I} dx = 0.$$

La racine de cette équation en ξ est $-v_k$; effectivement, si on y fait $\xi = -v_k$, il vient, en observant que $l_k - v_k = u_k$,

$$\frac{1}{v_k l_k}\int_0^{l_k} \frac{x(x - u_k)\, dx}{I} + \frac{1}{u_{k+1} l_{k+1}} \int_0^{l_{k+1}} \frac{(u_{k+1} - x)(l_{k+1} - x)}{I} dx = 0,$$

qui n'est autre que la relation connue (3) du § 50, où l'on aurait remplacé i par k et supprimé le facteur constant $\frac{1}{E}$.

On a donc bien

$$(e) \qquad \xi = -v_k,$$

ce qui justifie le lemme énoncé.

Théorème I. — *Le centre fixe O_k de la travée divise dans le même rapport la longueur de la travée et la distance focale $F'_k F_k$.*

Le point O_k est, par définition, le centre des forces fictives verticales $\frac{\mu^M}{I} dx$, réparties dans les trois travées l_{k-1}, l_k, l_{k+1}, et des réactions fictives correspondantes en A_{k-2} et en A_{k+1}.

Le diagramme des quantités μ^M est représenté à la planche 201 (*fig. 4*).

Une ordonnée quelconque de ce diagramme est égale à la somme des ordonnées correspondantes des deux diagrammes $A_{k-1}B_kB_{k+1}$ et $A_kB_{k-1}B_{k-2}$, (*fig. 4* ou *fig. 6*, pl. 201), définis au lemme précédent.

On peut donc, pour la détermination du point O_k, remplacer les forces fictives $\frac{\mu^M}{I} dx$, par celles correspondant à ces deux derniers diagrammes.

Or, la résultante des forces fictives répondant au diagramme $A_{k-1}B_kB_{k+1}$ est, d'après le lemme, appliquée au foyer de droite F_k et elle a pour valeur, en vertu des relations (*d*) et (*e*),

$$(f) \qquad \varepsilon_k = \frac{1}{v_k l_k} \int_0^{l_k} \frac{x(l_k - x)}{I} dx.$$

De même, celle des forces fictives répondant au diagramme $A_kB_{k-1}B_{k-2}$ est appliquée au foyer de gauche F'_k et elle a pour valeur

$$(g) \qquad \varepsilon'_k = \frac{1}{u'_k l_k} \int_0^{l_k} \frac{(l_k - x)x}{I} dx.$$

O_k est donc le point d'application de la résultante φ_k de ε_k et de ε'_k; en sorte qu'on a, en regardant comme positives les longueurs

mesurées à partir de O_k dans le sens O_kA_n et comme négatives celles mesurées dans le sens O_kA_o,

$$(h)\qquad \frac{O_kF_k}{O_kF'_k} = -\frac{\varepsilon'_k}{\varepsilon_k},$$

ou, à cause de (*f*) et de (*g*),

$$(k)\qquad \frac{O_kF_k}{O_kF'_k} = -\frac{v_k}{u'_k} = -\frac{F_kA_k}{A_{k-1}F'_k} = +\frac{F_kA_k}{F'_kA_{k-1}}.$$

ou enfin,

$$(k')\qquad \frac{O_kF_k}{O_kF'_k} = \frac{O_kF_k + F_kA_k}{O_kF'_k + F'_kA_{k-1}} = \frac{O_kA_k}{O_kA_{k-1}},$$

ce qu'il fallait démontrer.

Construction du centre de la travée. — La relation (*k*) conduit immédiatement à la construction suivante (*fig.* 6, pl. **201**) :

Porter, en ordonnées, $F_kH_k = v_k$, $F'_kH'_k = u'_k$, en sens inverse l'une de l'autre; tirer $H_kH'_k$. Le point d'intersection de cette ligne avec $A_{k-1}A_k$ est le centre cherché.

Remarque. — La position du centre de la travée est indépendante de celle de la section C dont on cherche le moment fléchissant et l'effort tranchant ; d'où la dénomination de *centre fixe.*

Théorème II. — *Le rapport anharmonique de la division de quatre points formée par les deux foyers* F'_k, F_k, *par le centre fixe* O_k *de la travée* l_k *et par le centre* O'_k *correspondant à un point* C *arbitrairemen choisi dans cette travée, est égal au rapport des deux segments en lesquels ce point partage la travée.*

Le centre O'_k correspondant au point C est, par définition, le centre des forces fictives verticales $\frac{\mu^T}{I}\,dx$, réparties dans les trois travées consécutives l_{k-1}, l_k, l_{k+1}, et des réactions fictives en A_{k-2} et en A_{k+1}.

Le diagramme des μ^T est représenté à la planche **201** (*fig.* 5).

Une ordonnée quelconque de ce diagramme est égale à la somme algébrique des ordonnées correspondantes des deux diagrammes $A_{k-1}B'_kB'_{k+1}$ et $A_kB'_{k-1}B'_{k-2}$.

D'autre part, une ordonnée quelconque du diagramme $A_{k-1}B'_kB'_{k+1}$ est égale à l'ordonnée correspondante du diagramme $A_{k-1}B_kB_{k+1}$ (*fig.* 6, pl. **201**), amplifiée dans le rapport de $-b$ à $+1$, puisque $A_kB'_k = -b$ et que $A_kB_k = +1$.

De même, une ordonnée quelconque du diagramme $A_kB'_{k-1}B'_{k-2}$ *(fig. 5)* est égale à l'ordonnée correspondante du diagramme $A_kB_{k-1}B_{k-2}$ *(fig. 6)*, amplifiée dans le rapport de $+a$ à $+1$, puisque $A_{k-1}B'_{k-1} = +a$ et que $A_{k-1}B_{k-1} = +1$.

On peut dès lors, pour la détermination du centre O'_k, remplacer les forces fictives $\frac{\mu^T}{I}dx$, correspondant au diagramme $B'_{k-2}B'_{k-1}B'_kB'_{k+1}$ *(fig. 5)*, par celles répondant aux deux diagrammes $A_{k-1}B_kB_{k+1}$ et $A_kB_{k-1}B_{k-2}$ *(fig .6)*, multipliées respectivement par $-b$ et par $+a$.

Ces dernières et les réactions fictives correspondantes en A_{k+1} d'une part, et en A_{k-2} d'autre part, peuvent elles-mêmes être remplacées par leurs résultantes, lesquelles, en vertu du lemme, sont appliquées en F_k et en F'_k, et ont pour valeurs

$$-b\varepsilon_k \quad \text{et} \quad +a\varepsilon'_k,$$

puisque ε_k et ε'_k sont les résultantes des forces fictives correspondant aux diagrammes $A_{k-1}B_kB_{k+1}$ et $A_kB_{k-1}B_{k-2}$, non amplifiés.

O'_k *(fig. 7)* est donc le point d'application de la résultante φ'_k des forces $-b\varepsilon_k$ et $+a\varepsilon'_k$; on a par conséquent

$$\frac{O'_kF_k}{O'_kF'_k} = \frac{a\varepsilon'_k}{b\varepsilon_k},$$

ou, à cause de (h),

$$(l) \qquad \frac{O'_kF_k}{O'_kF'_k} = -\frac{a}{b} \times \frac{O_kF_k}{O_kF'_k} = \frac{CA_{k-1}}{CA_k} \times \frac{O_kF_k}{O_kF'_k},$$

en ayant égard à la convention relatives aux signes.

Cette dernière relation donne

$$(l') \qquad \frac{O'_kF_k}{O'_kF'_k} \times \frac{O_kF'_k}{O_kF_k} = \frac{CA_{k-1}}{CA_k};$$

ce qui justifie le théorème.

Remarque — L'énoncé qui précède peut être transformé en le suivant :

Le rapport anharmonique de la division de quatre points formée par les deux appuis de la travée, par le centre fixe O_k, et par le centre O'_k correspondant à un point C arbitrairement choisi dans cette travée,

est égal au rapport des distances du point C *aux deux foyers* F'_k, F_k; — *c'est-à-dire que*

$$\frac{O'_kA_k}{O'_kA_{k-1}}\times\frac{O_kA_{k-1}}{O_kA_k}=\frac{CF'_k}{CF_k}.$$

En effet, la relation (l') peut s'écrire

$$\frac{O'_kF_k}{O'_kF'_k}\times\frac{CA_k}{CA_{k-1}}=\frac{O_kF_k}{O_kF'_k},$$

ou, en transformant le premier membre, d'après la figure 7 (planche 201),

$$\frac{(O'_kA_k-F_kA_k)(CF_k+F_kA_k)}{(O'_kA_{k-1}-F'_kA_{k-1})(CF'_k+F'_kA_{k-1})}$$
$$=\frac{O'_kA_k\times CF_k+F_kA_k(O'_kA_k-F_kA_k-CF_k)}{O'_kA_{k-1}\times CF'_k+F'_kA_{k-1}(O'_kA_{k-1}-F'_kA_{k-1}-CF'_k)}=\frac{O_kF_k}{O_kF'_k},$$

ou encore

$$(m)\qquad \frac{O'_kA_k\times CF_k+F_kA_k\times O'_kC}{O'_kA_{k-1}\times CF'_k+F'_kA_{k-1}\times O'_kC}=\frac{O_kF_k}{O_kF'_k}.$$

D'autre part, on a, en vertu du théorème I,

$$\frac{F_kA_k}{F'_kA_{k-1}}=\frac{O_kF_k}{O_kF'_k},$$

ou

$$(n)\qquad \frac{F_kA_k\times O'_kC}{F'_kA_{k-1}\times O'_kC}=\frac{O_kF_k}{O_kF'_k}.$$

Les deux premières fractions des relations (m) et (n) sont donc égales entre elles; en les retranchant terme à terme, il vient :

$$\frac{O'_kA_k\times CF_k}{O'_kA_{k-1}\times CF'_k}=\frac{O_kF_k}{O_kF'_k},$$

ou

$$(p)\qquad \frac{O'_kA_k}{O'_kA_{k-1}}\times\frac{O_kF'_k}{O_kF_k}=\frac{CF'_k}{CF_k},$$

ou enfin, puisque *(théorème I)*

$$\frac{O_kF'_k}{O_kF_k}=\frac{O_kA_{k-1}}{O_kA_k},$$

$$(p')\qquad \frac{O'_kA_k}{O'_kA_{k-1}}\times\frac{O_kA_{k-1}}{O_kA_k}=\frac{CF'_k}{CF_k},$$

qui est la relation que nous nous proposions d'établir.

Détermination du centre O'_k correspondant a un point C. De l'équation (*l*) on tire, en y faisant

$$O'_k F_k = O'_k F'_k + F'_k F_k :$$

$$F'_k O'_k = \frac{F'_k F_k}{1 - \frac{CA_{k-1}}{CA_k} \times \frac{O_k F_k}{O_k F'_k}}.$$

Cette formule fait connaître la position du centre cherché en fonction de certaines constantes de la travée, qui sont la distance focale $F'_k F_k$ et le rapport $\frac{O_k F_k}{O_k F'_k} = -\frac{v_k}{u'_k}$ (*), et en fonction du rapport $\frac{CA_{k-1}}{CA_k}$ qui définit la position du point C.

Discussion. — Supposons que le point C se trouve d'abord en A_{k-1} et qu'il se déplace vers A_k.

1° Quand C est en A_{k-1}, on a $CA_{k-1} = 0$ et par suite $F'_k O'_k = F'_k F_k$; le centre O'_k coïncide donc avec le foyer de droite F_k.

Lorsque C avance vers F'_k, le rapport $\frac{CA_{k-1}}{CA_k}$ augmente en valeur absolue; $F'_k O'_k$ augmente, et par suite le centre O'_k se rapproche de A_k.

2° Lorsque C passe au foyer de gauche F'_k, on a

$$\frac{CA_{k-1}}{CA_k} = \frac{F'_k A_{k-1}}{F'_k A_k};$$

d'ailleurs la relation (*k*) donne

$$\frac{O_k F_k}{O_k F'_k} = \frac{F_k A_k}{F'_k A_{k-1}}.$$

Substituant dans l'expression de $F'_k O'_k$, il vient

$$F'O'_k = \frac{F'_k F_k}{1 - \frac{F_k A_k}{F'_k A_k}} = \frac{F'_k F_k \times F'_k A_k}{F'_k A_k - F_k A_k} = F'_k A_k$$

Le centre coïncide donc avec l'appui de gauche A_k.

(*) En vertu de la relation (*k*).

3° Lorsque C, quittant le foyer de gauche F'_k, se rapproche de O_k, le centre O'_k s'éloigne de A_k vers A_n, et, quand C coïncide avec O_k, on a

$$CA_{k-1} = O_kA_{k-1}, \quad CA_k = O_kA_k.$$

d'autre part (k') donne

$$\frac{O_kF_k}{O_kF'_k} = \frac{O_kA_k}{O_kA_{k-1}}.$$

Substituant ces valeurs dans l'expression de $F_kO'_k$, il vient

$$F'_kO'_k = +\infty.$$

En résumé, tandis que le point C se déplace de l'appui de gauche au foyer de gauche, le centre correspondant O'_k se déplace du foyer de droite à l'appui de droite, et pendant que C passe du foyer de gauche au centre fixe O_k de la travée, le centre O'_k s'éloigne à l'infini dans la direction de A_n.

En continuant la discussion, on reconnaît qu'au moment où le point C franchit le centre O_k de la travée, le centre O'_k passe brusquement à l'infini dans la direction de A_0; puis, tandis que C marche vers le foyer de droite, le centre O'_k se rapproche de l'appui de gauche qu'il atteint, lorsque C arrive au foyer de droite; enfin C, continuant à cheminer vers l'appui de droite, O'_k s'avance vers le foyer de gauche, où il parvient en même temps que C atteint l'appui de droite.

§ 53. — Détermination des valeurs des produits $(c'_k - c_k)\varphi_k$ et $(c'_k - c_k)\varphi'_k$.

Valeur du produit $(c'_k - c_k)\varphi_k$. — Nous avons vu précédemment (§ 52) que φ_k était la résultante des forces fictives parallèles ε_k et ε'_k, appliquées respectivement au foyer de droite et au foyer de gauche de la travée (*fig.* 6, pl. 201); donc

$$(a) \qquad \varphi_k = \varepsilon_k + \varepsilon'_k.$$

D'autre part, ε_k et ε'_k sont données par les formules (*f*) et (*g*) du § 52, savoir:

$$\varepsilon_k = \frac{1}{v_k l_k}\int_0^{l_k} \frac{x(l_k - x)}{I}dx, \quad \varepsilon'_k = \frac{1}{u'_k l_k}\int_0^{l_k} \frac{x(l_k - x)}{I}dx,$$

qui, en vertu des relations (a') et (b') du § 50, p. 497, deviennent:

(b) $$\varepsilon_k = \frac{A_{k-1}g'_k \times \psi'_k}{v_k l_k}; \quad \varepsilon'_k = \frac{A_{k-1}g'_k \times \psi'_k}{u'_k l_k}.$$

En substituant ces valeurs de ε_k et de ε'_k dans l'expression de φ_k, il vient

(c) $$\varphi_k = \frac{(u'_k + v_k)A_{k-1}g'_k \times \psi'_k}{v_k u'_k l_k}.$$

Mais le théorème I du § 52 donne

$$\frac{u'_k}{A_{k-1}O_k} = \frac{v_k}{O_k A_k} = \frac{u'_k + v_k}{A_{k-1}O_k + O_k A_k} = \frac{u'_k + v_k}{l_k};$$

d'où l'on tire

(d) $$\frac{u'_k + v_k}{v_k l_k} = \frac{1}{O_k A_k}.$$

Substituant dans l'expression (c) de φ_k, il vient

(e) $$\varphi_k = \frac{1}{O_k A_k} \times \frac{A_{k-1}g'_k \times \psi'_k}{u'_k}.$$

Or la seconde fraction de cette formule représente précisément la valeur de la *composante au foyer de gauche* de la travée de rang k considérée [§ 50, p. 502, équation (e')]; donc

(f) $$\varphi_k = \frac{1}{O_k A_k} \times \pi'_k \text{ (*)}.$$

Enfin, remarquons que la longueur $O_k O'_k$ est égale, en grandeur et en signe, à ($c'_k - c_k$), à la condition, bien entendu, de compter positivement cette longueur lorsque O'_k est à droite de O_k, et négativement dans le cas contraire; on a donc

(5) $$(c'_k - c_k).\varphi_k = \frac{O_k O'_k}{O_k A_k} \times \pi'_k.$$

Valeur du produit ($c'_k - c_k$) φ'_k. — *Le moment de la résultante fictive φ'_k par rapport au centre fixe O_k de la travée (c'est-à-dire le pro-*

(*) On remarquera que la valeur de φ_k est indépendante de la position du point C dans la travée.

duit $(c'_k - c_k)\varphi'_k$) *est indépendant de la position du point* C. — En effet, nous avons vu (§ 52) que φ'_k est la résultante des forces fictives $-b\varepsilon_k$ et $+a\varepsilon'_k$ appliquées respectivement en F_k et en F'_k (*fig.* 7, pl. 201); sa valeur est donc

$$(g) \qquad \varphi'_k = -b\varepsilon_k + a\varepsilon'_k.$$

Son point d'application est O'_k.

En prenant les moments par rapport à O_k, il vient, en regardant les bras de leviers comme positifs dans le sens O_kA_n et comme négatifs dans le sens O_kA_o :

$$(h) \qquad O_kO'_k \times \varphi'_k = +a\varepsilon'_k \times O_kF'_k - b\varepsilon_k \times O_kF_k .$$

Mais O_k et un point de la résultante des forces fictives $+\varepsilon_k$ et $+\varepsilon'_k$ appliquées respectivement en F_k et en F'_k ; par conséquent

$$(i) \qquad \varepsilon_k \times O_kF_k + \varepsilon'_k \times O_kF'_k = 0.$$

Tirant de cette équation la valeur de $\varepsilon_k \times O_kF_k$ et substituant dans la relation *(h)*, il vient

$$O_kO'_k \times \varphi'_k = (a+b)\varepsilon'_k \times O_kF'_k = l_k \times \varepsilon'_k \times O_kF'_k.$$

Si on remplace ε'_k par sa valeur en fonction de ψ'_k, donnée par la seconde formule (*b*), on a

$$O_kO'_k \times \varphi'_k = O_kF'_k \times \frac{A_{k-1}g'_k \times \psi'_k}{u'_k} ;$$

ou, en remarquant, comme plus haut, que

$$O_kO'_k = c'_k - c_k \quad \text{et que} \quad \frac{A_{k-1}g'_k \times \psi'_k}{u'_k} = \pi'_k :$$

$$(6) \qquad (c'_k - c_k)\,\varphi'_k = O_kF'_k \times \pi'_k ,$$

quantité constante, ainsi que nous l'avions annoncé.

§ 54. — Expressions du moment fléchissant et de l'effort tranchant produits en une section quelconque par le passage d'une charge mobile. — Les efforts fictifs $\frac{z_1}{I}dx$, $\frac{z_2}{I}dx$. — Théorème fondamental relatif aux lignes d'influence.

Revenons aux formules finales (4) du (§ 51) et calculons les termes inconnus des seconds membres, c'est-à-dire les déplace-

ments angulaires et linéaires que les forces extérieures, qui se réduisent ici à la charge mobile, imprimeraient aux sections (1) et (2) des deux tronçons $A_0(1)$, $A_n(2)$ de la poutre supposée coupée en C (*fig. 19*, p. 504).

Il y a lieu de distinguer suivant que la charge mobile se trouve sur le tronçon $(2)A_n$ ou, au contraire, sur le tronçon $A_0(1)$.

1° La charge mobile se trouve sur le tronçon $(2)A_n$.

Soit, à un instant donné, D le point d'application de la charge mobile P sur le tronçon $(2)A_n$ considéré.

Le tronçon $A_0(1)$ ne supportant aucune charge n'est pas déformé, et l'on a

$$(a) \qquad g'_1 = 0 \qquad (l'_y)_1 = 0 .$$

Il reste à calculer g'_2 et $(l'_y)_2$, déplacements angulaire et linéaire produits en (2) par le poids P appliqué en D, et que nous représenterons maintenant par g_2^D, $(l_y)_2^D$, pour rentrer dans un système de notation déjà employé (*1re Partie*).

En vertu du second théorème de réciprocité (§ 7), le déplacement angulaire g_2^D imprimé à la section (2) par la charge P appliquée en D, est égal au déplacement vertical $(l'_y)_D^2$ qu'imprimerait au point D, un couple + P agissant sur l'extrémité (2) du tronçon $(2)A_n$; en sorte que

$$(b) \qquad g'_2 = g_2^D = (l'_y)_D^2 .$$

De même, en vertu du premier théorème de réciprocité (§ 6), le déplacement vertical $(l_y)_2^D$ produit en (2) par la charge P appliquée en D, est égal au déplacement vertical $(l''_y)_D^2$ qu'imprimerait au point D une force verticale + P appliquée à l'extrémité (2) du tronçon $(2)A_n$; en sorte que

$$(c) \qquad (l'_y)_2 = (l_y)_2^D = (l''_y)_D^2 .$$

Nous sommes maintenant ramenés à calculer les déplacements verticaux $(l'_y)_D^2$ et $(l''_y)_D^2$; nous nous servirons à cet effet des formules du § 32. Il faut, au préalable, déterminer les moments fléchissants produits par le couple + P et par la force + P.

Le couple + P, appliqué à la section (2), développe dans le tronçon (2) A_n des moments fléchissants que nous désignerons d'une manière générale par $\mathfrak{z}'$.

Dans la partie à porte-à-faux (2)A_k, (*fig. 8*, pl. 201) le moment est constant et a pour valeur

(*d*) $$z' = -P;$$

puis, à partir du point A_k, les travées n'étant pas chargées, les moments varient suivant les ordonnées de lignes droites qui passent par les foyers de droite (§ 50), et l'on a en vertu de la formule (1) (§ 50) :

En un point quelconque de la travée A_kA_{k+1} :

(*e*) $$z' = -P \times \frac{u_{k+1} - x}{u_{k+1}};$$

En un point quelconque de la travée $A_{m-1}A_m$:

(*f*) $$z' = -P \times \rho_{k+1} \times \rho_{k+2} \times \ldots\ldots \rho_{m-1} \times \frac{u_m - x}{u_m};$$

x étant l'abscisse du point considéré, mesurée à partir de l'appui de gauche de la travée où se trouve ce point.

D'autre part, la force verticale $+P$, appliquée en (2), produit dans le tronçon (2)A_n des moments fléchissants que nous représenterons d'une manière générale par z''. Dans la partie en porte-à-faux (2)A_k (*fig. 9*, pl. 201), le moment, nul au point (2), croît linéairement jusqu'en A_k où il atteint la valeur $+Pb$; puis, dans les travées A_kA_{k+1} etc... non chargées, il varie encore linéairement en s'annulant en chaque foyer de droite. On a donc :

En un point quelconque de la partie en porte-à-faux (2)A_k :

(*g*) $$z'' = +P\xi,$$

ξ étant l'abscisse du point considéré, mesurée à partir du point (2) pris pour origine.

En un point quelconque de la travée A_kA_{k+1} :

(*h*) $$z'' = +Pb \times \frac{u_{k+1} - x}{u_{k+1}};$$

En un point quelconque de la travée $A_{m-1}A_m$:

(*l*) $$z'' = +Pb \times \rho_{k+1} \times \rho_{k+2} \times \ldots\ldots \rho_{m-1} \times \frac{u_m - x}{u_m};$$

x ayant la même signification que plus haut.

Les moments z' et z'' étant connus, nous pouvons maintenant calculer les déplacements $(\zeta'_y)^2_D$, $(\zeta''_y)^2_D$ par la formule (I) du § 32. Il faut se rappeler que dans l'application de cette formule,

nous devons ramener la pièce à n'être soumise qu'à des liaisons indépendantes de l'élasticité et que nous sommes maîtres du choix de ces dernières parmi toutes les liaisons existantes.

Si le point D, dont nous cherchons les déplacements, est situé dans la partie de poutre (2)A_k, nous considérerons comme liaisons indépendantes de l'élasticité celles qui imposent la fixité des points A_k et A_{k+1}, et nous écrirons en conséquence :

$$(l'_v)^2_D = \overset{D.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{z'}{EI}\,dx, \quad (l''_v)^2_D = \overset{D.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{z''}{EI}\,dx,$$

formules qu'en vue des calculs subséquents, nous mettrons sous la forme suivante :

$$(m) \quad (l'_v)^2_D = \overset{D.A_k}{\underset{D}{MY}} \frac{z'}{EI}\,dx + \overset{A_k.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{z'}{EI}\,dx; \; (l''_v)^2_D = \overset{D.A_k}{\underset{D}{MY}} \frac{z''}{EI}\,dx + \overset{A_k.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{z''}{EI}\,dx.$$

Si le point D est situé dans une travée quelconque, placée à droite du point d'appui A_k, celle $A_{m-1}A_m$ par exemple, nous considérerons comme liaisons indépendantes de l'élasticité celles qui imposent la fixité des points A_{m-1} et A_m ; nous aurons par suite

$$(n) \qquad (l'_v)^2_D = \overset{D.\overline{A}_m}{\underset{D}{MY}} \frac{z'}{EI}\,dx; \quad (l''_v)^2_D = \overset{D.\overline{A}_m}{\underset{D}{MY}} \frac{z''}{EI}\,dx.$$

En adjoignant à chacun des deux groupes d'équations *(m)* et *(n)* celles (*a*) (*b*) et (*c*) qui précèdent, on obtient, par substitution dans les formules (4) du § 51, et en tenant compte des relations (5) et (6) du § 53 :

Lorsque le point D *est dans la partie de poutre* (2) A_k :

$$\frac{M}{O_kA_k} = \frac{c'_k \overset{D.A_k}{\underset{D}{MY}} \frac{z'}{I}\,dx + c'_k \overset{A_k.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{z'}{I}\,dx + \overset{D.A_k}{\underset{D}{MY}} \frac{z''}{I}\,dx + \overset{A_k.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{z''}{I}\,dx}{O_kO'_k \times \pi'_k}$$

$$= \frac{\overset{D.A_k}{\underset{D}{MY}} \frac{c'_k z' + z''}{I}\,dx + \overset{A_k.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{c'_k z' + z''}{I}\,dx}{O_kO'_k \times \pi'_k};$$

$$T = -\frac{\overset{D.A_k}{\underset{D}{MY}} \frac{z''}{I}\,dx + \overset{A_k.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{z''}{I}\,dx + c_k \overset{D.A_k}{\underset{D}{MY}} \frac{z'}{I}\,dx + c_k \overset{A_k.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{z'}{I}\,dx}{O_kF'_k \times \pi'_k}$$

$$= -\frac{\overset{D.A_k}{\underset{D}{MY}} \frac{z'' + c_k z'}{I}\,dx + \overset{A_k.\overline{A}_{k+1}}{\underset{D}{MY}} \frac{z'' + c_k z'}{I}\,dx}{O_kF'_k \times \pi'_k};$$

Lorsque le point D *est dans une travée quelconque située à droite du point* A_k, *celle* $A_{m-1}A_m$ *par exemple :*

$$\frac{M}{O_kA_k}=\frac{c'_k \mathop{MY}\limits_{D}^{D.\bar{A}_m}\frac{z'}{I}dx+\mathop{MY}\limits_{D}^{D.\bar{A}_m}\frac{z''}{I}dx}{O_kO'_k\times\pi'_k}=\frac{\mathop{MY}\limits_{D}^{D.\bar{A}_m}\frac{c'_kz'+z''}{I}dx}{O_kO'_k\times\pi'_k},$$

$$T=-\frac{\mathop{MY}\limits_{D}^{D.\bar{A}_m}\frac{z''}{I}dx+c_k\mathop{MY}\limits_{D}^{D.\bar{A}_m}\frac{z'}{I}dx}{O_kF'_k\times\pi'_k}=-\frac{\mathop{MY}\limits_{D}^{D.\bar{A}_m}\frac{z''+c_kz'}{I}dx}{O_kF'_k\times\pi'_k}.$$

Or, les valeurs de z' et de z'' dans les intervalles (2) A_k, A_kA_{k+1}, $A_{m-1}A_m$ sont données par les formules (*d*) (*e*) (*f*) (*g*) (*h*) (*l*).

En substituant ces valeurs dans les expressions précédentes de M et de T, il vient :

Lorsque le point D *est dans la partie de poutre* (2) A_k :

$$(7)\left\{\begin{aligned}\frac{M}{O_kA_k}&=P\frac{\mathop{MY}\limits_{D}^{D.A_k}\frac{\xi-c'_k}{I}dx+\mathop{MY}\limits_{D}^{A_k.\bar{A}_{k+1}}\frac{(b-c'_k)(u_{k+1}-x)}{u_{k+1}\times I}dx}{O_kO'_k\times\pi'_k},\\ T&=P\frac{\mathop{MY}\limits_{D}^{D.A_k}\frac{-(\xi-c_k)}{I}dx+\mathop{MY}\limits_{D}^{A_k\bar{A}_{k+1}}\frac{-(b-c_k)(u_{k+1}-x)}{u_{k+1}\times I}dx}{O_kF'_k\times\pi'_k};\end{aligned}\right.$$

Lorsque le point D *est dans une travée quelconque située à droite de* A_k, *celle* $A_{m-1}A_m$ *par exemple :*

$$(8)\left\{\begin{aligned}\frac{M}{O_kA_k}&=P\frac{\mathop{MY}\limits_{D}^{D.\bar{A}_m}(b-c'_k)\,\rho_{k+1}\times\rho_{k+2}\times\cdots\cdots\times\rho_{m-1}\times\frac{u_m-x}{u_m\times I}dx}{O_kO'_k\times\pi'_k},\\ T&=P\frac{\mathop{MY}\limits_{D}^{D.\bar{A}_m}-(b-c_k)\,\rho_{k+1}\times\rho_{k+2}\times\cdots\cdots\times\rho_{m-1}\times\frac{u_m-x}{u_m\times I}dx}{O_kF'_k\times\pi'_k}.\end{aligned}\right.$$

2° LA CHARGE MOBILE SE TROUVE SUR LE TRONÇON A_0 (1).

En suivant identiquement la même marche que dans l'hypothèse précédente, on arrive aux résultats suivants :

Lorsque le point D *est dans la partie de poutre* (1) A_{k-1} :

$$
(9)\left\{
\begin{aligned}
\frac{\mathrm{M}}{\mathrm{O}_k\mathrm{A}_k} &= -\mathrm{P}\,\frac{\underset{\mathrm{D}}{\overset{\mathrm{D.A}_{k-1}}{MY}}\,\frac{\xi - c'_k}{\mathrm{I}}\,dx + \underset{\mathrm{D}}{\overset{\mathrm{A}_{k-1}\overline{\mathrm{A}}_{k-2}}{MY}}\,\frac{(a + c'_k)(u'_{k-1} - x)}{v'_{k-1} \times \mathrm{I}}\,dx}{\mathrm{O}_k\mathrm{O}'_k \times \pi'_k},\\
\mathrm{T} &= -\mathrm{P}\,\frac{\underset{\mathrm{D}}{\overset{\mathrm{D.A}_{k-1}}{MY}}\,\frac{-(\xi - c_k)}{\mathrm{I}}\,dx + \underset{\mathrm{D}}{\overset{\mathrm{A}_{k-1}\overline{\mathrm{A}}_{k-2}}{MY}}\,\frac{-(a + c_k)(u'_{k-1} - x)}{v'_{k-1} \times \mathrm{I}}\,dx}{\mathrm{O}_k\mathrm{F}'_k \times \pi'_k};
\end{aligned}
\right.
$$

Lorsque le point D *est dans une travée quelconque située à gauche de* A_{k-1}, *celle* $A_{i-1}A_i$ *par exemple :*

$$
(10)\left\{
\begin{aligned}
\frac{\mathrm{M}}{\mathrm{O}_k\mathrm{A}_k} &= -\mathrm{P}\,\frac{\underset{\mathrm{D}}{\overset{\mathrm{D.}\overline{\mathrm{A}}_{i-1}}{MY}}\,(a + c'_k)\,\rho'_{k-1} \times \rho'_{k-2} \times \ldots\ldots \times \rho'_{i+1} \times \frac{u'_i - x}{v'_i \times \mathrm{I}}\,dx}{\mathrm{O}_k\mathrm{O}'_k \times \pi'_k},\\
\mathrm{T} &= -\mathrm{P}\,\frac{\underset{\mathrm{D}}{\overset{\mathrm{D.}\overline{\mathrm{A}}_{i-1}}{MY}}\,-(a + c_k)\,\rho'_{k-1} \times \rho'_{k-2} \times \ldots\ldots \times \rho'_{i+1} \times \frac{u'_i - x}{v'_i \times \mathrm{I}}\,dx}{\mathrm{O}_k\mathrm{F}'_k \times \pi'_k}.
\end{aligned}
\right.
$$

Ces formules établies, construisons les diagrammes suivants : 1° Par le centre O'_k correspondant au point C (*fig. 10*, pl. 201), menons une droite faisant un angle égal à + 45° avec la ligne A_oA_n et limitons-la à ses intersections α'_{k-1}, α'_k, avec les verticales des appuis A_{k-1}, A_k ; puis, à partir du point α'_k, traçons la ligne brisée $\alpha'_k\ \alpha'_{k+1}\ \alpha'_{k+2}\ldots\ldots$, dont les côtés passent par les foyers de droite des travées situées à droite de A_k, et dont les sommets se trouvent sur les verticales des appuis ; enfin, à partir du point α'_{k-1}, traçons la ligne brisée $\alpha'_{k-1}\ \alpha'_{k-2}\ \alpha'_{k-3}\ldots\ldots$, dont les côtés passent par les foyers de gauche des travées situées à gauche de A_{k-1}. Nous désignerons, d'une manière générale, par z_1 une ordonnée quelconque de ce diagramme ;

2° Par le centre fixe O_k de la travée (*fig. 11*, pl. 201), menons une droite faisant un angle égal à — 45° avec A_oA_n et limitons-la à ses intersections α''_{k-1}, α''_k, avec les verticales des appuis A_{k-1} et A_k ; puis, à partir des points α''_{k-1} et α''_k, achevons la construction du diagramme, comme il a été dit au 1°. Nous désignerons, d'une manière générale, par z_2 une ordonnée quelconque de ce diagramme.

Les ordonnées z_1 et z_2 ont les valeurs suivantes :

En un point quelconque de la travée $A_{k-1}A_k$;

$$z_1 = \xi - c'_k \quad ; \quad z_2 = -(\xi - c_k);$$

En un point quelconque de la travée A_kA_{k+1} :

$$z_1 = \frac{(b - c'_k)(u_{k+1} - x)}{u_{k+1}} \quad ; \quad z_2 = -\frac{(b - c_k)(u_{k+1} - x)}{u_{k+1}};$$

En un point quelconque de la travée $A_{m-1}A_m$:

$$z_1 = (b - c'_k)\,\rho_{k+1} \times \rho_{k+2} \times \ldots\ldots \times \rho_{m-1} \times \frac{u_m - x}{u_m};$$

$$z_2 = -(b - c_k)\,\rho_{k+1} \times \rho_{k+2} \times \ldots\ldots \times \rho_{m-1} \times \frac{u_m - x}{u_m};$$

En un point quelconque de la travée $A_{k-2}A_{k-1}$:

$$z_1 = \frac{(a + c'_k)(u'_{k-1} - x)}{v'_{k-1}} \quad , \quad z_2 = -\frac{(a + c_k)(u'_{k-1} - x)}{v'_{k-1}};$$

En un point quelconque de la travée $A_{i-1}A_i$:

$$z_1 = (a + c'_k)\,\rho'_{k-1} \times \rho'_{k-2} \times \ldots\ldots \times \rho'_{i-1} \times \frac{u'_i - x}{v'_i};$$

$$z_2 = -(a + c_k)\,\rho'_{k-1} \times \rho'_{k-2} \times \ldots\ldots \times \rho'_{i+1} \times \frac{u'_i - x}{v'_i}.$$

Ces expressions différentes de z_1 et de z_2 entrent dans les formules (7), (8), (9) et (10); si on introduit z_1 et z_2 dans les dites formules, il vient :

Lorsque le point D *se trouve dans la partie de poutre* (2) A_k :

$$(7^{bis}) \quad \frac{M}{O_kA_k} = P\,\frac{\int_D^{D.\bar{A}_{k+1}} MY\,\frac{z_1}{I}\,dx}{O_kO'_k \times \pi'_k}, \qquad T = P\,\frac{\int_D^{D.\bar{A}_{k+1}} MY\,\frac{z_2}{I}\,dx}{O_kF_k \times \pi'_k};$$

Lorsque le point D *se trouve dans une travée quelconque située à droite de* A_k, *celle* $A_{m-1}A_m$ *par exemple :*

$$(8^{bis}) \quad \frac{M}{O_kA_k} = P\,\frac{\int_D^{D.\bar{A}_m} MY\,\frac{z_1}{I}\,dx}{O_kO'_k \times \pi'_k}, \qquad T = P\,\frac{\int_D^{D.\bar{A}_m} MY\,\frac{z_2}{I}\,dx}{O_kF'_k \times \pi'_k};$$

Lorsque le point D *se trouve dans la partie de poutre* (1) A_{k-1} :

$$(9^{bis}) \quad \frac{M}{O_kA_k} = -P\,\frac{\int_D^{D.\bar{A}_{k-2}} MY\,\frac{z_1}{I}\,dx}{O_kO'_k \times \pi'}, \qquad T = -P\,\frac{\int_D^{D.\bar{A}_{k-2}} MY\,\frac{z_2}{I}\,dx}{O_kF'_k \times \pi'_k};$$

Lorsque le point D *se trouve dans une travée quelconque situé à gauche de* A_{k-1}, *celle* $A_{i-1}A_i$ *par exemple :*

$$(10^{\text{bis}}) \quad \frac{M}{O_kA_k} = -P \frac{\mathcal{M}Y_{D}^{D.\overline{A}_{i-1}} \frac{z_1}{I} dx}{O_kO'_k \times \pi'_k}, \qquad T = -P \frac{\mathcal{M}Y_{D}^{D.\overline{A}_{i-1}} \frac{z_2}{I} dx}{O_kF'_k \times \pi'_k}.$$

En se rappelant que D désigne toujours le point d'application de la charge mobile, on traduit comme suit, les formules qui précèdent :

Théorème I. — *Étant données une poutre continue parcourue par une charge mobile, et une section* C *arbitrairement choisie dans une travée quelconque* $A_{k-1}A_k$, *si on applique successivement des efforts fictifs verticaux* 1° $\frac{z_1}{I}\,dx$, 2° $\frac{z_2}{I}\,dx$, *tout le long de cette poutre, et qu'on considère les réactions fictives correspondantes, développées aux extrémités de chaque travée supposée séparée du reste de la poutre et reposant librement sur ses appuis, —* z_1 et z_2 *étant les ordonnées des diagrammes polygonaux précédemment définis :*

A. — (1°) *La somme des moments, — par rapport à un point quelconque* D *appartenant à une travée* $A_{m-1}A_m$ *située à droite de celle* $A_{k-1}A_k$, *— des forces fictives* $\frac{z_1}{I}\,dx$ *réparties entre ce point et l'appui* A_m, *et de la réaction fictive en cet appui, est proportionnelle au moment fléchissant que la charge mobile produit au point* C *lorsqu'elle passe en* D.

(2°) *La somme des moments, — par rapport à un point quelconque* D *appartenant à une travée* $A_{i-1}A_i$ *située à gauche de celle* $A_{k-1}A_k$, *— des forces fictives* $\frac{z_1}{I}\,dx$ *réparties entre ce point et l'appui* A_{i-1}, *et de la réaction fictive en cet appui, est proportionnelle au moment fléchissant que la charge mobile produit au point* C *lorsqu'elle passe en* D.

(3°) *La somme des moments, — par rapport à un point quelconque* D *appartenant au tronçon de travée* CA_k, *— des forces fictives* $\frac{z_1}{I}\,dx$ *réparties entre ce point et l'appui de droite* A_{k+1} *de la travée adjacente à ce tronçon, et de la réaction fictive en cet appui, est proportionnelle au moment fléchissant que la charge mobile produit au point* C *lorsqu'elle passe en* D.

(4°) *La somme des moments, — par rapport à un point quelconque* D *appartenant au tronçon de travée* CA_{k-1}, — *des forces fictives* $\frac{z_1}{I}\,dx$ *réparties entre ce point et l'appui de gauche* A_{k-2} *de la travée adjacente à ce tronçon, et de la réaction fictive en cet appui, est proportionnelle au moment fléchissant que la charge mobile produit au point* C *lorsqu'elle passe en* D.

B. — *Les quatre propositions qui précèdent s'appliquent également aux forces fictives* $\frac{z_2}{I}\,dx$ *et aux efforts tranchants développés au point* C *par la charge mobile.*

Les (1°) et (2°) peuvent encore être énoncés de la manière suivante :

Le moment fléchissant fictif développé par les forces fictives $\frac{z_1}{I}\,dx$, *en un point quelconque* D *d'une travée située soit à droite, soit à gauche de celle* $A_{k-1}A_k$, — *la dite travée étant considérée comme séparée du reste de la poutre et comme reposant librement sur ses appuis, — est proportionnel au moment fléchissant que la charge mobile produit en* C *lorsqu'elle passe en* D.

En se référant à des propriétés connues des courbes funiculaires et à la définition des lignes d'influence, on transforme comme suit le théorème qui précède.

Théorème II. — *Étant données une poutre continue parcourue par une charge mobile, et une section* C *arbitrairement choisie dans une travée quelconque* $A_{k-1}A_k$, *si on applique successivement des efforts fictifs* 1° $\frac{z_1}{I}\,dx$, 2° $\frac{z_2}{I}\,dx$, *tout le long de la poutre, —* z_1 *et* z_2 *étant les ordonnées des diagrammes polygonaux précédemment définis, — qu'avec des distances polaires arbitraires, on construise les deux courbes funiculaires respectivement relatives à ces efforts, qu'on leur mène des lignes de fermeture correspondantes à chacune des travées autres que celle* $A_{k-1}A_k$, *et qu'enfin on prolonge jusqu'à la verticale du point* C *les lignes de fermeture afférentes aux travées contiguës à celle* $A_{k-1}A_k$.

Les segments de verticales, compris entre chacune de ces courbes et les lignes de fermeture y relatives, sont respectivement proportionnels aux ordonnées des lignes d'influence du moment fléchissant et de l'effort tranchant développés dans la section C.

§ 55. — Propriétés des courbes funiculaires correspondantes aux efforts fictifs $\frac{z_1}{I}\,dx$ et $\frac{z_2}{I}\,dx$.

THÉORÈME I. — *Dans la courbe funiculaire des $\frac{z_1}{I}\,dx$, les lignes de fermeture correspondantes aux travées adjacentes à celle $A_{k-1}A_k$ où se trouve le point* C, *se coupent sur la verticale de ce point.*

Pour qu'il en soit ainsi, il faut et il suffit que la résultante des efforts fictifs $\frac{z_1}{I}\,dx$ répartis entre les appuis A_{k-2} et A_{k+1}, et des réactions fictives en ces appuis, passe par le point C; ou, par suite, que la somme des moments de ces forces par rapport à C soit nulle.

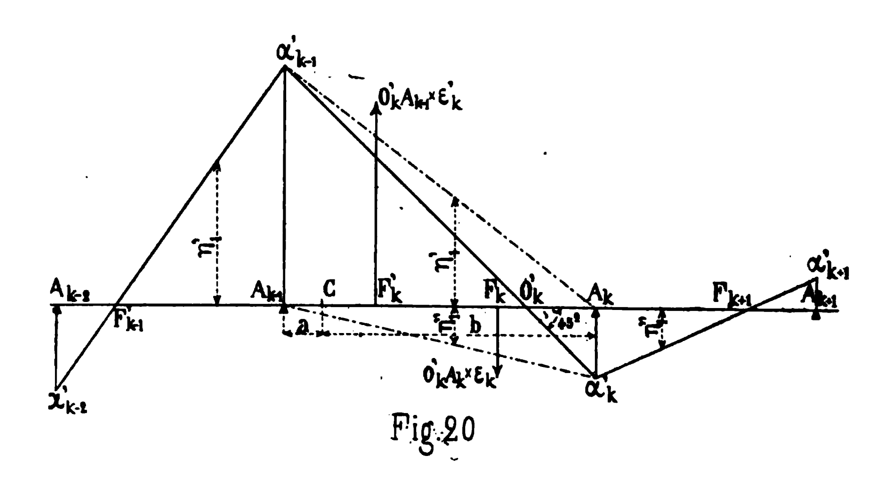


Fig. 20

Une ordonnée quelconque du diagramme des z_1 ($\alpha'_{k-2}\alpha'_{k-1}\alpha'_k\alpha'_{k+1}$) (*fig. 20*), est égale à la somme algébrique $\eta'_1 + \eta''_1$ des ordonnées correspondantes des diagrammes $\alpha'_{k-2}\alpha'_{k-1}A_k$ et $\alpha'_{k+1}\alpha'_k A_{k-1}$; on a donc

$$(a) \qquad \frac{z_1}{I}\,dx = \frac{\eta'_1}{I}\,dx + \frac{\eta''_1}{I}\,dx.$$

Or, en vertu du lemme du § 52, la résultante des efforts fictifs

$\frac{\eta'_1}{I}\,dx$ et de la réaction fictive correspondante en A_{k-2} est appliquée en F'_k; elle a pour valeur

$$O'_k A_{k-1} \times \varepsilon'_k,$$

puisque

$$A_{k-1}\alpha'_{k-1} = -A_{k-1}O'_k = +O'_k A_{k-1}.$$

De même, la résultante des efforts fictifs $\frac{\eta''_1}{I}\,dx$ et de la réaction fictive correspondante en A_{k+1} est appliquée en F_k, et elle a pour valeur

$$O'_k A_k \times \varepsilon_k,$$

puisque $A_k x'_k = O'_k A_k$.

Mais il résulte de la relation (a) que la résultante des efforts fictifs $\frac{z_1}{I}\,dx$ et des réactions fictives correspondantes en A_{k-2} et en A_{k+1}, est la même que celle des forces fictives

$$O'_k A_{k-1} \times \varepsilon'_k \quad \text{et} \quad O'_k A_k \times \varepsilon_k.$$

La condition nécessaire et suffisante pour que cette résultante passe en C est :

$$\frac{O'_k A_k \times \varepsilon_k}{O'_k A_{k-1} \times \varepsilon'_k} = \frac{-CF'_k}{CF_k},$$

ou, à cause de l'équation (h) (§ 52, p. 511),

$$\frac{O'_k A_k}{O'_k A_{k-1}} \times \frac{O_k F'_k}{O_k F_k} = \frac{CF'_k}{CF_k}.$$

Cette relation n'est autre que celle (p) démontrée au paragraphe **52**, p. 513; la condition ci-dessus est donc satisfaite, ce qui justifie l'énoncé.

Théorème II. — *Dans la courbe funiculaire des* $\frac{z_2}{I}\,dx$, *les lignes de fermeture correspondantes aux travées adjacentes à celle* $A_{k-1}A_k$ *où se trouve le point* C, *sont parallèles.*

Pour qu'il en soit ainsi, il faut et il suffit qu'il y ait coïncidence entre le premier et le dernier rayon polaire du polygone des forces formé : 1° de la réaction fictive en A_{k+1}, 2° des forces fictives $\frac{z_2}{I}\,dx$ réparties entre A_{k+1} et A_{k-2}, 3° de la réaction fic-

tive en A_{k-2}; ou, par suite, que la résultante de ces efforts soit nulle.

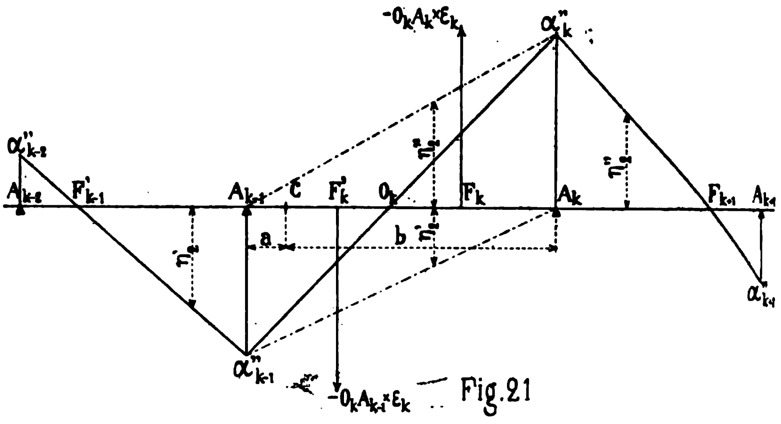


Fig. 21

Une ordonnée quelconque du diagramme des z_2 ($\alpha''_{k-2}\alpha''_{k-1}\alpha''_k$ α''_{k+1}) (*fig. 21*) est égale à la somme algébrique $\eta'_2+\eta''_2$ des ordonnées correspondante des diagrammes $\alpha''_{k-2}\alpha''_{k-1}A_k$ et $\alpha''_{k+1}\alpha''_kA_{k-1}$: on a donc

$$(a) \qquad \frac{z_2}{I}dx = \frac{\eta'_2}{I}dx + \frac{\eta''_2}{I}dx.$$

Or, la résultante des efforts fictifs $\frac{\eta'_2}{I}dx$ et de la réaction fictive en A_{k-2}, a pour valeur

$$-O_kA_{k-1}\times\varepsilon'_k,$$

puisque $$A_{k-1}\alpha''_{k-1} = -O_kA_{k-1}.$$

De même, la résultante des efforts fictifs $\frac{\eta''_2}{I}dx$ et de la réaction fictive en A_{k+1}, a pour valeur

$$-O_kA_k\times\varepsilon_k,$$

puisque $$A_k\alpha''_k = -O_kA_k.$$

La résultante des efforts fictifs $\frac{z_2}{I}dx$ et des réactions fictives correspondantes en A_{k-2} et A_{k+1}, a donc pour expression

$$(b) \qquad -O_kA_{k-1}\times\varepsilon'_k - O_kA_k\times\varepsilon_k.$$

Mais, d'autre part, (h) et (k') (§ 52) donnent

$$-\frac{\varepsilon'_k}{\varepsilon_k} = \frac{O_kA_k}{O_kA_{k-1}},$$

ou $$-O_kA_{k-1}\times\varepsilon'_k - O_kA_k\times\varepsilon_k = O.$$

La résultante exprimée par la formule (b) est donc nulle ; ce qu'il fallait démontrer.

THÉORÈME III. — *Dans les courbes funiculaires des* $\frac{z_1}{I}\,dx$ *et des* $\frac{z_2}{I}\,dx$, *les lignes de fermeture correspondantes aux travées qui précèdent celle* $A_{k-1}A_k$ *où se trouve le point* C, *sont en ligne droite; il en est de même des lignes de fermeture correspondantes aux travées qui suivent celle* $A_{k-1}A_k$.

Revenons aux calculs du § 54.

Pour déterminer les déplacements entrant dans les expressions (4) (§ 51) de M et de T, nous avons dû supposer les deux tronçons de poutre A_0C, CA_n, privés de leurs liaisons surabondantes. Dans le cas où le point D d'application de la charge P se trouve dans une travée quelconque $A_{m-1}A_m$, située à droite de celle $A_{k-1}A_k$ où est le point C, nous avons considéré comme indépendantes de l'élasticité les liaisons qui imposent la fixité des points A_{m-1} et A_m.

Or, d'après une remarque déjà plusieurs fois renouvelée, nous savons qu'on peut également regarder comme telles, les liaisons qui imposent la fixité de deux appuis quelconques, ceux A_k et A_n par exemple. Dans cette hypothèse, les formules finales (8 *bis*) du § 54, deviennent :

$$(8\ ter)\qquad \frac{M}{O_kA_k} = P\,\frac{\mathcal{M}_D^{\overline{D.A_n}}\,Y\,\frac{z_1}{I}\,dx}{O_kO'_k \times \pi'_k}\,;\quad T = P\,\frac{\mathcal{M}_D^{\overline{D.A_n}}\,Y\,\frac{z_2}{I}\,dx}{O_kF'_k \times \pi'_k}.$$

Il résulte de ces expressions et de propriétés connues des courbes funiculaires que :

Si, avec des distances polaires arbitraires, on trace les deux courbes funiculaires des $\frac{z_1}{I}dx$ et des $\frac{z_2}{I}dx$, et qu'on leur mène des lignes de fermeture les coupant respectivement en leurs points d'intersection avec les verticales des appuis A_k et A_n, les segments de verticales, compris entre ces courbes et ces lignes de fermeture, sont proportionnels aux ordonnées des portions des lignes d'influence du moment fléchissant et de l'effort tranchant en C, afférentes à la partie de poutre A_kA_n.

En comparant la construction qui vient d'être indiquée, à celle donnée au théorème II du paragraphe 54, on voit que la première ne diffère de la seconde que par la substitution d'une ligne de fermeture unique aux lignes de fermeture partielles répondant à chaque travée.

Ces deux constructions devant nécessairement donner les mêmes résultats, il faut que la ligne de fermeture unique coïncide avec les lignes de fermeture partielles qui, par conséquent, sont en ligne droite.

Même démonstration en ce qui concerne les lignes de fermeture partielles correspondantes aux travées situées à gauche de celle $A_{k-1}A_k$.

Corollaire. — En rapprochant les théorèmes I et II, du théorème III, on voit immédiatement que :

1° *Dans la courbe funiculaire des* $\frac{z_1}{I}dx$, *les deux droites formées 1° par les lignes de fermeture des travées qui précèdent celle* l_k *où se trouve le point* C *considéré, 2° par les lignes de fermeture des travées qui suivent cette dernière, se coupent sur la verticale du point* C.

2° *Dans la courbe funiculaire des* $\frac{z_2}{I}dx$, *les deux droites analogues aux précédentes sont parallèles.*

Remarque. — Les portions de la courbe funiculaire des $\frac{z_1}{I}dx$, correspondantes à deux travées adjacentes quelconques l_{m-1} et l_m, se raccordent tangentiellement sur la verticale de l'appui A_m commun à ces travées, puisque dans le polygone des forces fictives $\frac{z_1}{I}dx$, le dernier rayon polaire des forces fictives de la travée l_{m-1} est en même temps le premier rayon polaire des forces fictives de la travée l_m.

La même remarque s'applique à la courbe funiculaire des $\frac{z_2}{I}dx$.

§ 56. — Construction des lignes d'influence du Moment fléchissant et de l'Effort tranchant développés en une section C arbitrairement choisie dans une travée l_k quelconque.

Le théorème II du § 54 ramène cette construction à celle des deux courbes funiculaires correspondantes aux forces fictives verticales $\frac{z_1}{I}\,dx$ et $\frac{z_2}{I}dx$ réparties tout le long de la ligne moyenne de la poutre.

Nous opérerons conformément aux indications données au § 45 pour lès tracés analogues relatifs à l'arc encastré.

La ligne moyenne de la poutre continue a été précédemment divisée en un certain nombre de parties Δx, égales entre elles, pour la détermination des verticales trisectrices (§ 50).

Conservons cette division et, aux milieux des éléments Δx, appliquons des forces fictives verticales $z_1 \dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ et $z_2 \dfrac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ descendantes ou ascendantes suivant que les z_1 ou les z_2 sont positifs ou négatifs (Pl. 201, *Fig. 12* à *19*).

Cela fait, avec des distances polaires B_1 et B_2, positives ou négatives, et d'ailleurs pour l'instant arbitraires, traçons les deux polygones de ces forces fictives (*fig. 13* et *14* et *fig. 17* et *18*) (*), en ayant soin de commencer par l'extrémité A_0 de la poutre et de placer les pôles à gauche, ou à droite, des verticales choisies pour porter bout à bout les forces fictives, suivant que B_1 et B_2 sont positifs ou négatifs ; construisons les deux polygones funiculaires y relatifs $a_0\,H_1\,a_{k-1}\,C_1\,m$.... (*fig. 15*) (**) et $a'_0\,H_2\,a'_{k-1}\,C_2$ $\alpha'_k\,H_2\,\alpha'_n$ (*fig. 19*) ; menons-leur des lignes de fermeture correspondantes aux travées autres que celle l_k qui contient la section C ; enfin, prolongeons les lignes de fermeture des travées l_{k-1} et l_{k+1} jusqu'à la verticale du point C.

Ces polygones funiculaires ont pour limites, lorsque Δx

(*) Pour ne pas surcharger les figures, chacun de ces polygones a été scindé en deux parties, et toutes les forces fictives n'y ont pas été représentées.

(**) Les dimensions de la planche n'ont pas permis d'indiquer en entier ce polygone la remarque I (page 534) lève cette difficulté.

décroit indéfiniment, les deux courbes funiculaires des $\frac{z_1}{I}\,dx$ et des $\frac{z_2}{I}\,dx$, lesquelles jouissent des propriétés énoncées au § 55.

Donc :

1° Dans chacun des polygones en question, les lignes de fermeture des travées qui précèdent celle l_k doivent former une seule ligne droite; celles des travées qui suivent l_k doivent former une autre droite.

2° Dans le polygone funiculaire des $z_1\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, ces deux droites doivent se couper sur la verticale de C au point c. (Cette vérification n'apparait pas sur la figure 15, la partie du polygone funiculaire des $z_1\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ correspondante aux travées qui suivent celle l_k n ayant pas été tracée.) Dans le polygone des $z_2\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ les droites en question ($a'_0\,c_2$ et $\alpha'_n\,\gamma_2$) doivent être parallèles.

Ce sont là des vérifications de l'exactitude des tracés.

Cela posé, soient K_1H_1, K_2H_2, les segments interceptés sur la verticale d'un point quelconque D par chacun des polygones funiculaires et par les lignes de fermeture correspondantes. Par des considérations identiques à celles exposées au § 45 pour l'arc encastré, on établirait, en partant des équations fondamentales (7 *bis*) (8 *bis*) (9 *bis*) et (10 *bis*) du § 54, que, lorsque la charge mobile passe en D, le moment fléchissant M_c et l'effort T_c dans la section C sont donnés par les relations

$$\frac{M_c}{O_kA_k}=P\times\frac{\frac{n\Delta x}{I_m}\times B_1}{O_kO'_k\times\pi'_k}\times K_1H_1 \quad (*),$$

$$T_c=P\times\frac{\frac{n\Delta x}{I_m}\times B_1}{O_kF'_k\times\pi'_k}\times K_2H_2.$$

(*) On remarquera que M_c étant un moment et O_kA_k une longueur, le quotient $\frac{M_c}{O_kA_k}$ est une *force*.

remplaçant la composante au foyer de gauche π'_k par sa
r tirée de la formule

$$\Pi'_k = \frac{I_m}{n\Delta x}\,\pi'_k\,,$$

st celle (f') du § 50 (page 502), à la substitution près de
e k à l'indice i, il vient :

$$\frac{M_C}{O_kA_k} = \frac{P \times B_1}{O_kO'_k \times \Pi'_k}\,K_1H_1;$$

$$T_C = \frac{P \times B_2}{O_kF'_k \times \Pi'_k}\,K_2H_2.$$

ent maintenant $\overline{P}$, $\overline{B}_1$, $\overline{B}_2$, $\overline{O_kO'_k}$, $\overline{O_kF'_k}$, $\overline{\Pi'_k}$, $\overline{K_1H_1}$ et $\overline{K_2H_2}$ les lon-
s brutes, abstraction faite de toute échelle, des lignes qui,
épure, représentent les quantités désignées par ces lettres
urmontées d'un tiret ; soient, en outre, $\frac{1}{f}$ l'échelle des forces
elle des longueurs ; on a :

$$P = \overline{P} \times f,\quad B_1 = \overline{B}_1 \times l,\quad B_2 = \overline{B}_2 \times l,\quad O_kO'_k = \overline{O_kO'_k} \times l,$$

$$= \overline{O_kF'_k} \times l,\quad \Pi'_k = \overline{\Pi'_k} \times l,\quad K_1H_1 = \overline{K_1H_1} \times l,\quad K_2H_2 = \overline{K_2H_2} \times l;$$

substituant dans les deux équations ci-dessus, on obtient :

$$\frac{M_C}{O_kA_k} = \left(\frac{\overline{P} \times \overline{B}_1}{\overline{O_kO'_k} \times \overline{\Pi'_k}}\,\overline{K_1H_1}\right) f,$$

$$T_C = \left(\frac{\overline{P} \times \overline{B}_2}{\overline{O_kF'_k} \times \overline{\Pi'_k}}\,\overline{K_2H_2}\right) f.$$

, on peut toujours prendre pour distances polaires, les valeurs
ntes :

$$\overline{B}_1 = \frac{\overline{O_kO'_k} \times \overline{\Pi'_k}}{\overline{P}},$$

$$\overline{B}_2 = \frac{\overline{O_kF'_k} \times \overline{\Pi'_k}}{\overline{P}};$$

el cas les relations précédentes se réduisent à

) $$\frac{M_C}{O_kA_k} = \overline{K_1H_1} \times f,$$

) $$T_C = \overline{K_2H_2} \times f;$$

et l'on peut dire, dès lors, que les segments de verticales K_1H_1 et K_2H_2, correspondants aux polygones funiculaires tracés avec les distances polaires sus-indiquées, représentent, *à l'échelle des forces*, les quantités $\frac{M_c}{O_kA_k}$ et T_c, ou encore qu'ils sont égaux aux ordonnées des lignes d'influence desdites quantités.

Par suite, si on les porte en ordonnées à partir de deux horizontales $U_1U'_1$ et $U_2U'_2$ choisies comme axes des abscisses, on obtiendra les lignes d'influence cherchées $a_0H_1a_{k-1}C_1a_ka_n$ et $a'_0H_2a'_{k-1}C_2C'_2a'_ka'_n$ (*fig. 15 et 19*).

Remarque I. — Au lieu de construire en une seule fois le polygone funiculaire des forces fictives $z_1\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, pour toute la poutre, on pourra procéder travée par travée, ce qui aura l'avantage de rendre les tracés plus clairs et d'éviter qu'ils ne sortent des limites de l'épure.

On tracera donc autant de polygones des forces fictives et autant de polygones funiculaires qu'il y a de travées, en ayant soin de tenir compte de ce que le dernier côté du polygone funiculaire correspondant à une travée et le premier côté du polygone funiculaire de la travée suivante doivent être en ligne droite, ainsi qu'il résulte de la remarque finale du § 55.

Il sera également commode de faire en sorte que les lignes de fermeture des polygones funiculaires successifs, lesquelles doivent être en ligne droite, coïncident avec l'axe horizontal $U_1U'_1$ auquel on rapporte la ligne d'influence ; ces polygones funiculaires constitueront alors la ligne d'influence cherchée elle-même, et l'on aura évité le report d'ordonnées indiqué plus haut.

Pour cela, on construira, avec un pôle quelconque de distance polaire B_1, un polygone funiculaire d'essai des forces fictives $z_1\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$, pour la première travée $A_0\,A_1$ seulement ; la ligne de fermeture de ce polygone sera en général oblique ; on corrigera la position du pôle, suivant une règle connue, de manière à ramener ladite ligne de fermeture à être horizontale ; puis on retracera le polygone funiculaire en question, en partant du point de

$U_1U'_1$ situé sur la verticale de l'appui A_0 ; le dernier côté de ce polygone coupera $U_1U'_1$ sur la verticale de A_1 et fera connaître la direction à donner au premier côté du polygone funiculaire des $\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}z_1$ correspondant à la travée suivante A_1A_2. On construira ce nouveau polygone, dont le dernier côté coupera $U_1U'_1$ sur la verticale de A_2. On continuera ainsi, de travée en travée, jusqu'à la verticale de la section C, relativement à laquelle on cherche la ligne d'influence du moment fléchissant M.

On obtiendra, de la sorte, toute la portion de la ligne d'influence de M, correspondante à la partie de poutre A_0 C.

On construira de la même manière, la portion de la ligne d'influence qui correspond à la partie de poutre CA_n, en partant de la dernière travée $A_{n-1}A_n$, au lieu de la première A_0A_1, et en allant de travée en travée jusqu'à la verticale de C.

Il est clair qu'au lieu de commencer les tracés par les deux travées de rive, on peut commencer par deux travées quelconques $A_{i-1}A_i$ et $A_{m-1}A_m$, situées, l'une avant, l'autre après la travée $A_{k-1}A_k$ qui contient le point C.

Ainsi, on construira le polygone funiculaire des forces fictives $z_1\frac{\frac{1}{n}I_m}{I}$ pour la travée $A_{i-1}A_i$, par exemple ; et on corrigera la position de la ligne de fermeture de ce polygone de manière à la faire coïncider avec l'horizontale U_1U_1'. En prolongeant respectivement le premier et le dernier côté dudit polygone, à gauche de la verticale de l'appui A_{i-1} et à droite de la verticale de l'appui A_i, on aura le dernier côté du polygone funiculaire correspondant à la travée $A_{i-2}A_{i-1}$ et le premier côté du polygone funiculaire correspondant à la travée A_iA_{i+1}. On pourra dès lors tracer ces derniers polygones, et on continuera ainsi, de proche en proche, d'une part en allant de la travée $A_{i-2}A_{i-1}$ à la travée de rive A_0A_1, et d'autre part en allant de la travée A_iA_{i+1} jusqu'à la section C. On obtiendra ainsi la partie de la ligne d'influence afférente à la partie de poutre A_0 C.

Une construction semblable, faite en partant de la travée A_{m-1}

A_m, fera connaître la partie de la ligne d'influence afférente à la partie de poutre C A_n.

Les indications qui précèdent s'appliquent aussi au polygone funiculaire des forces fictives $z_2 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, c'est-à-dire à la ligne d'influence de l'effort tranchant.

Remarque II. — Lorsque la section C dont on cherche les lignes d'influence, se trouve entre les foyers F_k et F'_k, le centre O'_k correspondant est situé en dehors de la travée, et il est d'autant plus éloigné, soit dans la direction $A_{k-1} A_0$, soit dans celle $A_k A_n$, que le point C est plus rapproché du centre fixe O_k de la travée; il est rejeté à l'infini positif ou négatif lorsque C coïncide avec O_k (§ 52, p. 514 : *Discussion.*).

Il en résulte que, pour certaines positions de la section C, entre les foyers, la longueur $O_k O'_k$ est très grande (*fig.* 22, p. 537); il en est de même, par suite, de la distance polaire $\overline{B_1}$, d'après la formule (*a*) (page 533), et des efforts fictifs $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, d'après la construction même du diagramme des z_1.

Le polygone de ces efforts fictifs peut alors prendre des dimensions incompatibles avec celles de l'épure.

On obvie à cet inconvénient en apportant aux tracés sus-indiqués la modification suivante qui s'applique, d'ailleurs, quelle que soit la position du point C dans la travée.

Remarquons qu'on ne modifie en rien le polygone funiculaire des efforts fictifs $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, en multipliant par un même coefficient lesdits efforts fictifs et la distance polaire $\overline{B_1}$. Attribuons à ce coefficient la valeur $\frac{\lambda}{O_k O'_k}$, λ étant une longueur arbitrairement choisie; les efforts fictifs à considérer deviennent alors

$$z_1 \frac{\lambda}{O_k O'_k} \times \frac{\frac{1}{n} I_m}{I} = z'_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I},$$

osant

$$ z'_1 = z_1 \frac{\lambda}{O_k O'_k} ; \qquad (e) $$

is que la distance polaire prend la valeur

$$ \overline{B'_1} = \frac{\overline{B_1} \times \overline{\lambda}}{\overline{O_k O'_k}} = \frac{\overline{\lambda} \times \overline{\Pi'_k}}{\overline{P}} . \qquad (f) $$

apres (e), z_1 et z'_1 sont proportionnels; les côtés du diagramme z'_1 coupent donc A_0A_n aux mêmes points que les côtés corondants de celui des z_1, savoir : aux foyers de gauche des ées qui précèdent celle l_k, aux foyers de droite des travées suivent l_k, et enfin au point O'_k pour le côté répondant à la ée l_k.

s lors, pour tracer le diagramme des z'_1, il suffit d'en cone une seule ordonnée. Calculons celle dont le pied est au re fixe O_k de la travée l_k; en ce point on a

$$ (z_1)_{O_k} = - O_k O'_k , $$

que le côté $\alpha'_{k-1}\alpha'_k$ du diagramme des z_1 fait un angle égal 45 degrés avec A_0A_n et passe par O'_k. Donc, en vertu de (e),

$$ (z'_1)_{O_k} = - O_k O'_k \frac{\lambda}{O_k O'_k} = - \lambda . $$

où la construction suivante (*fig.* 22) :

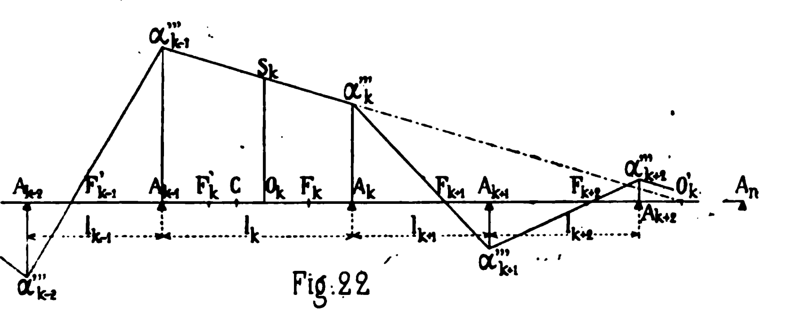


Fig. 22

rter en ordonnée $O_kS_k = \lambda$, au-dessus de A_0A_n; joindre

$S_kO'_k$: la partie $x''_{k-1}\,x''_k$ de cette droite est le côté du diagramme des z'_1, qui correspond à la travée l_k ; enfin, achever le diagramme, en partant des points x''_{k-1} et x''_k comme il a été indiqué pour le diagramme des z_1.

Résumé ***des opérations à effectuer, pour déterminer les lignes d'influence du moment fléchissant*** M $\left(\textit{ou plus exactement de la quantité } \frac{M}{O_kA_k}\right)$ ***et de l'effort tranchant*** T ***produits en une section*** C ***arbitrairement choisie dans une travée*** l_k, ***par le passage d'une charge mobile*** P.

La construction des verticales trisectrices, des foyers, et des longueurs telles que II'_k qui représentent les composantes aux foyers de gauche, étant préalablement faite, on devra :

1° Déterminer le centre fixe O_k de la travée, et le centre O'_k correspondant au point C (§ 52), puis les diagrammes polygonaux des z_1(ou des z'_1) et des z_2 qui s'ensuivent immédiatement (§ 54).

2° Tracer deux polygones funiculaires de distances polaires $\overline{B}_1 = \frac{\overline{O_kO'_k} \times \overline{II'_k}}{\overline{P}}\left(\text{ou } \overline{B}'_1 = \frac{\overline{\lambda} \times \overline{II'_k}}{\overline{P}}\right)$ et $\overline{B}_2 = \frac{\overline{O_kF'_k} \times \overline{II'_k}}{\overline{P}}$, et correspondants à des efforts fictifs verticaux, égaux respectivement à $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}\left(\text{ou } z'_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}\right)$ et à $z_2 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, — n et I_m ayant les valeurs déjà employées pour la construction des verticales trisectrices et des longueurs telles que II'_k. Mener à ces polygones des lignes de fermeture correspondantes aux travées autres que celle l_k, et prolonger jusqu'à la verticale du point C, les lignes de fermeture des travées adjacentes à celle l_k.

3° Ramener les ordonnées de ces polygones, mesurées à partir de leurs lignes de fermeture, à avoir leurs pieds sur les axes $U_1U'_1$ et $U_2U'_2$; joindre les extrémités de ces ordonnées par des droites, ou mieux par des lignes courbes, ce qui donne les lignes d'influence cherchées.

Ou bien, la détermination 1° étant effectuée, construire les polygones funiculaires du 2°, conformément aux indications de la remarque I du présent paragraphe, ce qui supprime l'opération 3°.

– Lignes d'influence du moment fléchissant et de l'ef- tranchant, relatives aux différentes sections d'une même ée.

osons qu'on ait déterminé, comme il vient d'être dit, les d'influence du moment fléchissant et de l'effort tranchant, es à une section C de la travée l_k.

allons montrer comment les constructions faites à cet oivent être utilisées, pour simplifier les constructions simi- à effectuer pour la détermination des lignes d'influence ondantes à une autre section quelconque C′ de la même

1° Lignes d'influence de l'effort tranchant

rème. — *Le polygone funiculaire d'où se déduit la ligne d'in- de l'effort tranchant relative à une section C′ quelconque d'une , est identique au polygone de même nature correspondant à la situées dans la même travée.*

effet :

s polygones correspondent aux efforts fictifs $z_2 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ qui ngent pas de valeur quand on passe de la section C à la C′, puisque le point O_k qui définit le diagramme de z_2, est s la travée ;

ır distance polaire est la même, en vertu de la formule *(b)* qui ne contient que des constantes.

nt donc identiques.

onséquent, un seul polygone funiculaire, celui des forces $z_2 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, fait connaître les ordonnées des lignes d'influence ort tranchant, relatives aux différentes sections d'une même l_k.

rmément aux indications du § 56, on devra, pour chaque considérée, prolonger les lignes de fermeture des tra- $_{-1}$ et l_{k+1} jusqu'à la verticale de cette section.

Il résulte de ce qui précède que, pour toutes les sections d'une même travée, les parties des lignes d'influence de l'effort tranchant, situées en dehors de ladite travée, sont identiques.

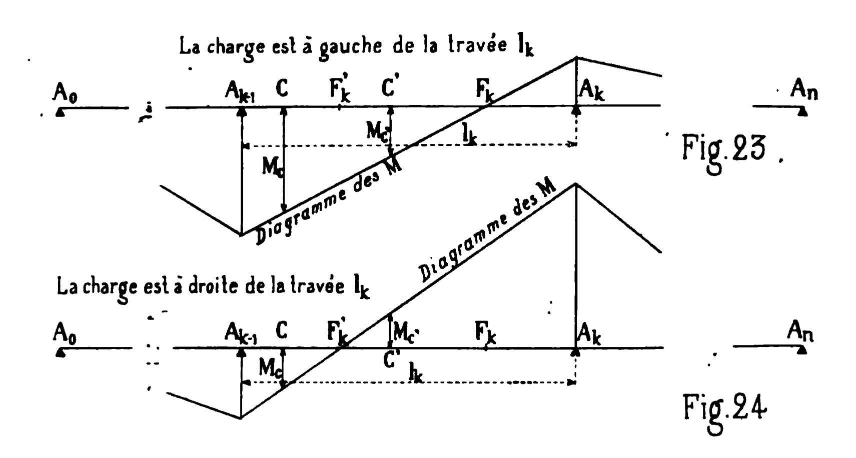
2° Lignes d'influence du moment fléchissant

A — *Parties de la ligne d'influence situées en dehors de la travée l_k.*

Théorème. — *Les ordonnées correspondantes à une même abscisse, des lignes d'influence relatives à deux sections* C *et* C' *de la travée l_k, sont entre elles :*

1° *Pour la partie de ces lignes située à gauche de la travée l_k, comme les distances du foyer de droite F_k de cette travée aux sections* C *et* C' ;

2° *Pour la partie de ces lignes située à droite de la travée l_k, comme les distances du foyer de gauche F'_k de cette travée aux sections* C *et* C'.



Considérons d'abord les portions de lignes d'influence situées à gauche de la travée l_k.

Quand la charge mobile se trouve sur la partie de poutre A_0A_{k-1}, le diagramme représentatif des moments fléchissants dans la travée l_k est, à chaque instant, une droite qui passe par le foyer de droite de ladite travée (*fig.* 23) et qui pivote autour de ce point, tandis que la charge se déplace (§ 50. *Foyers*). On a donc, en désignant par M_c et $M_{c'}$ les valeurs simultanées du moment fléchissant en C et en C',

$$\frac{M_{c'}}{M_c} = \frac{F_kC'}{F_kC}.$$

Cette proportion ayant lieu quelle que soit la position de la charge mobile sur la partie de poutre A_0A_{k-1}, on en conclut que, dans cette région, les ordonnées correspondantes des lignes d'influence du moment fléchissant en C′ et du moment fléchissant en C, sont entre elles dans le rapport constant $\frac{F_kC'}{F_kC}$.

On démontrerait de même que, quand la charge mobile se trouve à droite de la travée l_k, on a (*fig. 24*)

$$\frac{M_{c'}}{M_c} = \frac{F'_kC'}{F'_kC}$$

et que, par suite, dans la région A_kA_n, les ordonnées des lignes d'influence du moment fléchissant en C′ et du moment fléchissant en C, sont entre elles dans le rapport constant $\frac{F'_kC'}{F'_kC}$.

Conséquence. — La partie de ligne d'influence du moment fléchissant en C′, située à gauche de l_k, se déduira de la partie correspondante de la ligne d'influence du moment fléchissant en C, par la réduction ou l'amplification des ordonnées de cette dernière, dans le rapport $\frac{F_kC'}{F_kC}$.

De même, la partie de la ligne d'influence du moment fléchissant en C′, située à droite de l_k, se déduira de la partie correspondante de la ligne d'influence du moment fléchissant en C, par la réduction, ou l'amplification, des ordonnées de cette dernièr dans le rapport $\frac{F'_kC'}{F'_kC}$.

Il est sous-entendu que les rapports en question sont susceptibles d'un signe : ils sont positifs si C et C′ sont d'un même côté de F_k, ou de F'_k ; ils sont négatifs si C et C′ sont de part et d'autre de F_k, ou de F'_k.

B. — *Partie de la ligne d'influence du moment fléchissant, située dans la travée l_k.*

Pour la détermination de cette partie de la ligne d'influence du moment fléchissant en C′, on appliquera la méthode générale indiquée pour la section C et complétée par la remarque I (§ 56) :

On cherchera le centre correspondant à la section C′ et on

tracera le côté du diagramme des z_1 (ou de celui des z'_1), situé dans la travée l_k.

Puis on construira successivement les deux tronçons de ligne d'influence, situés dans les parties de travée $A_{k-1}C$ et A_kC, en se fondant sur ce que :

1° Ces tronçons sont deux segments d'un polygone funiculaire de distance polaire $\overline{B}_1 = \frac{\overline{O_kO'_k} \times \overline{\Pi}'_k}{\overline{P}}$ $\left(\text{ou } \overline{B}'_1 = \frac{\overline{\lambda} \times \overline{\Pi}'_k}{\overline{P}}\right)$, correspondant aux forces fictives $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ $\left[\text{ou } z'_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}\right]$;

2° Ces tronçons respectifs doivent (§ 55. — *Remarque finale*) se raccorder tangentiellement avec les parties de ligne d'influence situées à gauche et à droite de la travée l_k, parties qui ont été déterminées précédemment.

§ 58. — Lignes d'influence du moment fléchissant, relatives à certaines sections remarquables.

La connaissance de la ligne d'influence du moment fléchissant en une section donnée, résulte immédiatement de celle du diagramme des z_1 (ou des z'_1) correspondant à cette section.

Nous allons passer en revue certaines sections remarquables, pour lesquelles les diagrammes en question présentent quelques particularités.

LIGNE D'INFLUENCE DU MOMENT FLÉCHISSANT EN UN APPUI QUELCONQUE DONNÉ.

Soit l'appui A_{k-1}.

Nous pouvons, à volonté, considérer la section A_{k-1} comme appartenant à la travée l_{k-1} ou à celle l_k (*).

Regardons-la, d'abord, comme faisant partie de cette dernière. Alors, le centre O'_k, qui lui correspond, coïncide avec le foyer de droite F_k de la travée l_k (§ 52. — *Discussion*). Le diagramme des z_1 est, en conséquence, celui représenté en traits pleins sur la figure **20** de la planche **202**.

(*) Cette section peut, en effet, être prise immédiatement à gauche ou immédiatement à droite de l'appui.

tance polaire à adopter pour le tracé du polygone funiculaire

rces fictives $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ est dans ce cas : $\overline{B}_1 = \frac{\overline{O_k F_k} \times \overline{\Pi'_k}}{\overline{P}}$ [§ 56;

3, — formule (a)].

diagramme des z'_1 qu'on peut également employer, est indi-
ur la même figure, en traits pointillés; la distance polaire à
re, pour construire le polygone funiculaire des forces fictives

, a pour valeur $\overline{B}'_1 = \frac{\overline{\lambda} \times \overline{\Pi'_k}}{\overline{P}}$ [§ 56; p. 537 — formule (f)].

nous considérons, au contraire, la section A_{k-1} comme
tenant à la travée l_{k-1}, le diagramme des z_1 est celui en
pleins de la figure **21** (pl. **202**) et la distance polaire à adopter
le tracé du polygone des forces fictives y relatives, est égale

$\frac{\overline{O_{k-1} F'_{k-1}} \times \overline{\Pi'_{k-1}}}{\overline{P}}$ (*).

diagramme des z'_1, qu'on peut également utiliser, est indi-
n traits pointillés (fig. 21), et la distance polaire à prendre

le tracé du polygone funiculaire des forces fictives $z'_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$

gale à $\frac{\overline{\lambda} \times \overline{\Pi'_{k-1}}}{\overline{P}}$.

D'INFLUENCE DU MOMENT FLÉCHISSANT EN UN FOYER QUELCONQUE.

nsidérons le foyer de gauche F'_k de la travée l_k.

centre correspondant au point F'_k est l'appui de droite A_k
travée; le diagramme des z_1 est donc celui de la figure **22**,
02).

diagramme se confond avec $A_0 A_n$ dans la partie de poutre

(*) [O]n remarquera que cette distance polaire est négative, car $O_{k-1} F'_{k-1}$ est négatif,
F'_{k-1} est à gauche de O_{k-1}.

située à droite de la travée l_k. Les efforts fictifs $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ sont par conséquent nuls dans cette partie, et il en résulte :

1° Que dans le polygone funiculaire des $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ la ligne de fermeture de la travée l_{k+1}, ligne qui, d'après les indications du § 56, doit être prolongée jusqu'à la verticale de la section considérée F'_k, se confond avec le dernier côté du dit polygone funiculaire;

2° que dans la partie $A_k A_n$ de la poutre, la ligne d'influence cherchée se confond avec l'horizontale $U_1 U'_1$ à laquelle on la rapporte.

Ce dernier résultat était évident *à priori*, puisqu'on sait que toute charge agissant à droite de la travée l_k ne détermine aucun moment fléchissant au foyer de gauche de cette travée.

La distance polaire à prendre pour le tracé du polygone funiculaire est, dans le cas considéré, égale à $\frac{\overline{O_k A_k} \times \overline{\Pi'_k}}{P}$.

LIGNE D'INFLUENCE DU MOMENT FLÉCHISSANT AU CENTRE FIXE D'UNE TRAVÉE QUELCONQUE.

Considérons, par exemple, le centre fixe O_k de la travée l_k.

Quand la section C dont on cherche la ligne d'influence vient en O_k, le centre O'_k correspondant à cette section s'éloigne à l'infini positif ou négatif sur $A_0 A_n$ (§ 52. — *Discussion*).

Par suite, le côté $\alpha'_{k-1} \alpha'_k$ du diagramme des z_1, qui s'obtient en menant par O'_k une droite faisant un angle de 45° avec $A_0 A_n$, est rejeté à l'infini; les côtés dudit diagramme, appartenant aux travées qui précèdent celle l_k, coïncident alors avec les verticales des foyers de gauche de ces travées, tandis que les côtés appartenant aux travées qui suivent celle l_k, coïncident avec les verticales des foyers de droite.

Donc les z_1 sont infinis, et il en est de même des forces fictives $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$.

De plus, la distance polaire $\overline{B}_1 = \frac{\overline{O_k O'_k} \times \overline{II'_k}}{\overline{P}}$, à prendre pour le tracé du polygone funiculaire des $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, est infinie, puisque $O_k O'_k$ est infini.

La construction générale de la ligne d'influence du moment fléchissant au moyen du diagramme des z_1, devient donc illusoire pour les sections des centres fixes des travées.

Il faut alors avoir recours aux forces fictives $z'_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ et à la distance polaire $\overline{z'_1} = \frac{\overline{\lambda} \times \overline{II'_k}}{\overline{P}}$.

Le diagramme des z'_1 est celui représenté à la figure 23(pl. 202). Le côté qui correspond à la travée l_k est parallèle à A_0A_n, puisque C'_k est rejeté à l'infini.

§ 59. — Sur quelques propriétés des lignes d'influence.

Théorème. — *La ligne d'influence de l'effort tranchant, relative à une section arbitrairement choisie d'une travée l_k, présente un point d'inflexion dans chaque travée de la poutre.*

Ces points sont situés :

Dans la travée l_k, sur la verticale du centre fixe O_k de cette travée; dans les travées qui précèdent l_k, sur les verticales des foyers de gauche; dans les travées qui suivent l_k, sur les verticales des foyers de droite.

Ce théorème résulte immédiatement de ce qu'aux foyers et au centre fixe sus-indiqués, les forces fictives $\frac{z_1}{I} dx$ s'annulent en changeant de signe.

On voit de même que :

Théorème II. — *La ligne d'influence du moment fléchissant en une section quelconque d'une travée l_k, présente toujours un point d'inflexion dans chacune des autres travées; ces points sont situés sur les verticales des foyers de gauche des travées qui précèdent l_k, et sur les verticales des foyers de droite des travées qui suivent l_k.*

De plus, si la section est située entre les foyers de la travée l_k, il n'y a jamais de point d'inflexion dans cette travée; si, au contraire, elle est située en dehors des foyers, il y a toujours un point d'inflexion dans la travée l_k, et ce point est situé sur la verticale du centre O'_k correspondant à la section.

Exception. — Lorsque les travées de rive reposent librement sur les appuis extrêmes, le foyer de gauche de la travée l_1 et le foyer de droite de la travée l_n coïncident respectivement avec A_0 et A_n; dans ces travées, les lignes d'influence du moment fléchissant et de l'effort tranchant, relatives à une section quelconque C d'une travée l_k, ne présentent pas de point d'inflexion, puisque, les diagrammes des z_1 et des z_2 ne se continuant pas à gauche de A_0 et à droite de A_n, les efforts fictifs $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ et $z_2 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ ne changent pas de signe en ces points, — bien qu'ils s'y annulent.

§ 60. — Lignes d'influence du moment fléchissant et de l'effort tranchant, relatives à une section arbitrairement choisie d'une travée de rive.

Il y a lieu de distinguer suivant que la poutre continue est encastrée ou, au contraire, repose librement sur ses appuis extrêmes.

1° Poutre continue encastrée sur ses appuis extrêmes.

Dans ce cas, la méthode générale de détermination des lignes d'influence, indiquée précédemment pour une section quelconque, appartenant à une travée de rang k, s'applique sans restriction aux diverses sections des travées de rive (*).

(*) On vérifiera facilement que les lignes de fermeture des courbes funiculaires des $\frac{z_1}{I}dx$ et des $\frac{z_2}{I}dx$, menées suivant la méthode générale dans la travée qui précède (ou qui suit) celle de rang k, doivent être remplacées, quand il s'agit d'une section de la travée de rive gauche (ou droite), par les tangentes aux extrémités de gauche (ou de droite) de ces courbes.

2° Poutre continue reposant librement sur ses appuis extrêmes.

Dans cette hypothèse, la méthode générale est en défaut.

En effet, cette méthode est fondée sur la considération des déplacements élastiques que prendraient, sous l'action de la charge mobile, les extrémités (1) et (2) des deux tronçons A_0 (1) et (2) A_n obtenus en coupant la poutre suivant la section transversale relativement à laquelle on cherche les lignes d'influence (§§ 51 et 54).

Or, si on effectue cette coupure en un point C d'une travée de rive, — la travée l_n pour fixer les idées (*fig.* 25), — l'un des tron-

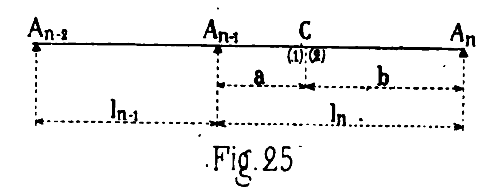


Fig. 25

çons formés, celui (2)A_n, ne possède d'autre liaison que la fixité de son extrémité A_n, ce qui est insuffisant pour en déterminer la position dans l'espace. On ne saurait, par conséquent, y appliquer la charge mobile et considérer les déplacements élastiques correspondants de son extrémité (2).

La méthode générale est donc bien en défaut.

Nous y suppléerons en déduisant les lignes d'influence cherchées, de celle du moment fléchissant M_{n-1} sur l'appui A_{n-1}.

Celle-ci se construit par la méthode générale, en considérant la section A_{n-1} comme appartenant à la travée l_{n-1}. Supposons-la tracée ; ses ordonnées représentent, non pas précisément le moment M_{n-1}, mais le quotient $\dfrac{M_{n-1}}{O_{n-1}A_{n-1}}$.

Soient, pour une position donnée de la charge mobile, M le moment fléchissant et T l'effort tranchant en C. Les quantités M_{n-1} M et T varient simultanément lorsque la charge se déplace.

Rendons libre la travée l_n : à cet effet, séparons-la du reste de la poutre et, à chaque instant, appliquons à sa section d'appui A'_{n-1} un couple $-M_{n-1}$ égal et contraire au couple de flexion M_{n-1}.

Dès lors, quand la charge mobile se trouve sur la partie de poutre A_0A_{n-1}, la travée l_n n'est sollicitée que par un seul effort

directement appliqué, le couple — M_{n-1} ; et on a, par conséquent,

$$(a) \qquad M = M_{n-1} \times \frac{b}{l_n}, \qquad (b) \qquad T = \frac{M_{n-1}}{l_n}$$

Quand la charge mobile P est sur la travée l_n, celle-ci est soumise aux efforts — M_{n-1} et P ; on a, par suite, en vertu du principe de la superposition des effets des forces,

$$(c) \qquad M = M_{n-1} \times \frac{b}{l_n} + M', \quad (d) \qquad T = \frac{M_{n-1}}{l_n} + T',$$

en désignant par M' et T' le moment fléchissant et l'effort tranchant que produirait, en C, la charge mobile agissant sur la travée l_n supposée appuyée librement à ses extrémités.

Introduisons dans les relations précédentes, la longueur $O_{n-1}A_{n-1}$, en les écrivant comme suit :

Quand la charge mobile se trouve sur la partie de poutre A_0 A_{n-1} :

$$(a') \qquad \frac{M}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b} = \frac{M_{n-1}}{O_{n-1}A_{n-1}};$$

$$(b') \qquad T \times \frac{l_n}{O_{n-1}A_{n-1}} = \frac{M_{n-1}}{O_{n-1}A_{n-1}};$$

Quand la charge mobile se trouve sur la travée l_n :

$$(c') \qquad \frac{M}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b} = \frac{M_{n-1}}{O_{n-1}A_{n-1}} + \frac{M'}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b};$$

$$(d') \qquad T \times \frac{l_n}{O_{n-1}A_{n-1}} = \frac{M_{n-1}}{O_{n-1}A_{n-1}} + T' \times \frac{l_n}{O_{n-1}A_{n-1}}.$$

Ces équations conduisent aux constructions suivantes :

1° *Ligne d'influence du moment fléchissant.* — Au lieu de considérer dans les calculs de résistance relatifs à une poutre continue, le moment fléchissant M dans une section donnée C, on peut envisager la quantité proportionnelle $\left(\frac{M}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b}\right)$, que nous représenterons par A.

C'est la ligne d'influence de A que nous allons construire.

On remarquera qu'au point de vue de l'homogénéité, M est du premier degré par rapport aux forces et du premier degré aussi par rapport aux longueurs, tandis que $O_{n-1}A_{n-1}$, l_n et b sont des longueurs ; A doit donc être regardé comme une force.

Soit (*fig.* 25, pl. 202) $a_n p a_{n-1} r a_{n-2} \ldots$, la ligne d'influence connue, de la quantité $\frac{M_{n-1}}{O_{n-1}A_{n-1}}$.

La formule (a') montre que, dans la partie de poutre $A_0 A_{n-1}$, cette ligne est précisément la ligne d'influence cherchée, qui se trouve ainsi toute tracée.

Dans la travée l_n, la ligne d'influence de A s'obtiendra, en vertu de (c'), par addition algébrique des ordonnées de la courbe connue $a_n p a_{n-1}$ et des ordonnées correspondantes de la ligne d'influence de la quantité $\frac{M'}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b}$, ligne qui se détermine comme suit :

M′ est, par définition, le moment fléchissant qui serait produit en C, par la charge mobile agissant sur la travée l_n, si celle-ci reposait librement sur ses appuis ; on sait que la ligne d'influence de ce moment fléchissant se compose de deux droites $a_{n-1}\gamma$ et $a_n\gamma$, qui se coupent sur la verticale de C en un point dont l'ordonnée $c\gamma$ a pour valeur $-\frac{Pab}{l_n}$. Par conséquent, la ligne d'influence de la quantité $\frac{M'}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b}$ proportionnelle à M′, se compose aussi de deux droites $a_{n-1}\theta$ et $a_n\theta$ telles que

$$c\theta = c\gamma \times \frac{1}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b} = -\frac{Pab}{l_n} \times \frac{1}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b} = -P\frac{a}{O_{n-1}A_{n-1}}$$

Si maintenant on porte $a_{n-1}\omega = O_{n-1}A_{n-1}$ et si on élève en ω une perpendiculaire $\omega\sigma$ sur $U_1U'_1$, on voit immédiatement, par la considération des triangles semblables $a_{n-1}c\theta$ et $a_{n-1}\omega\sigma$, que $\omega\sigma = -P$, à condition, bien entendu, de lire la longueur $\omega\sigma$ à l'échelle des forces.

Par conséquent, pour construire la ligne d'influence $a_{n-1}\theta a_n$ de la quantité $\frac{M'}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b}$, il suffit de porter $a_{n-1}\omega = O_{n-1}A_{n-1}$, d'élever en ω, une ordonnée $\omega\sigma$ représentant $-P$ à l'échelle des forces, de tirer $a_{n-1}\sigma$, de prendre l'intersection θ de cette ligne avec la verticale de C et enfin de mener $a_n\theta$.

De ce qui précède, il résulte qu'en un point quelconque m de la travée de rive l_n, l'ordonnée de la ligne d'influence de A est

égale à la somme algébrique $mp + ms$, dont les deux termes sont à présent connus.

Pratiquement, au lieu de construire le diagramme $a_{n-1}\theta a_n$, on en construira le symétrique $a_{n-1}\theta' a_n$ par rapport à U_1U_1'; de sorte qu'en tout point m on aura $s'p = mp - ms' = mp + ms$; et les segments de verticales compris entre le diagramme $a_{n-1}\theta' a_n$ et la courbe $a_{n-1}p\, a_n$ seront, par conséquent, égaux aux ordonnées correspondantes de la ligne d'influence de la quantité Λ.

On ramènera ces segments de verticales à avoir leurs pieds, tels que s', sur l'axe U_1U_1'; le lieu de leurs extrémités sera la ligne d'influence cherchée.

Remarque I. — Lorsque la section C considérée décrit la travée l_n, la courbe $a_n p\, a_{n-1} r\, a_{n-2}$.... ne change pas, il en est de même de la droite $a_{n-1}\sigma'$; la droite $a_n\theta'$ seule se déplace en pivotant autour de a_n.

La courbe en question et la droite $a_{n-1}\sigma'$, tracées une fois pour toutes, font donc connaître immédiatement les lignes d'influence de la quantité Λ, relatives aux différentes sections de la travée de rive.

Ainsi, pour une section C_1 par exemple (*fig. 24*, pl. 202), la ligne d'influence de la quantité y relative $\Lambda_1 = \frac{M_1}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b_1}$ se composera, dans la partie de poutre $A_{n-1}A_o$, de la courbe $a_{n-1} r\, a_{n-2}$..... (*fig. 25*).

Quant à la partie de cette ligne d'influence située dans la travée l_n, il suffira, pour en obtenir les ordonnées, de prendre le point d'intersection θ_1' de la verticale de C_1 avec la droite fixe $a_{n-1}\sigma'$ et de joindre $a_n\theta_1'$: les segments de verticales compris entre le diagramme $a_n\theta_1' a_{n-1}$ ainsi formé et la courbe $a_n p\, a_{n-1}$, seront les ordonnées cherchées. On pourra, si on le veut, rapporter ces ordonnées à l'axe U_1U_1'.

Remarque II. — Il résulte des constructions indiquées précédemment que si la section C vient en A_n, la ligne d'influence de la quantité $\Lambda = \frac{M}{O_{n-1}A_{n-1}} \times \frac{l_n}{b}$ reste déterminée; mais alors $b = o$, et par suite, $M = o$. Les ordonnées de la ligne d'influence du moment fléchissant en A_n sont donc nulles, d'aprés les tracés, comme cela doit être d'ailleurs.

Ligne d'influence de l'effort tranchant. — Par analogie avec ce [...]ous avons fait pour le moment fléchissant, au lieu de consi[...] l'effort tranchant T en la section C donnée, nous considére[...]a quantité proportionnelle $T\frac{l_n}{O_{n-1}A_{n-1}}$, que nous représente[...]par Θ.

[...] remarquera que, l_n et $O_{n-1}A_{n-1}$ étant des longueurs et T [...]rce, Θ doit être regardé comme une force.

[...]t, comme précédemment (*fig.* 26, pl. 202), $a_n p\, a_{n-1} r a_{n-2}$..... [...]e d'influence connue, de la quantité $\frac{M_{n-1}}{O_{n-1}A_{n-1}}$.

[...] formule (b') montre que, dans la partie de poutre A_0A_{n-1}, [...]ligne est précisément la ligne d'influence de la quantité Θ, qui [...]uve ainsi toute tracée.

[...]s la travée l_n, la ligne d'influence de Θ est, en vertu de (d'), [...]me algébrique des ordonnées de la courbe connue $a_n p\, a_{n-1}$ [...]s ordonnées correspondantes de la ligne d'influence de la [...]ité $T'\frac{l_n}{O_{n-1}A_{n-1}}$, ligne qui se détermine comme suit :

[...]st l'effort tranchant qui serait produit en C, par la charge [...]e agissant sur la travée l_n, si celle-ci reposait librement sur [...]puis; on sait que la ligne d'influence de cet effort tranchant [...]npose de deux droites parallèles $a_{n-1}\rho$ et $a_n\lambda$, limitées à la [...]ale de C et dont les prolongements déterminent sur les ver[...]s de A_n et de A_{n-1} deux longueurs $a_n\tau_n$ et $a_{n-1}\tau_{n-1}$ repré[...]nt, en valeur absolue, le poids P à l'échelle des forces. Par [...]quent, la ligne d'influence de la quantité $T'\frac{l_n}{O_{n-1}A_{n-1}}$ pro[...]nnelle à T' se compose aussi de deux droites parallèles $a_{n-1}\theta$ [...], dont les prolongements rencontrent les verticales des appuis [...]A_{n-1} en deux points ε_n et ε_{n-1}, tels que l'on ait, en tenant [...]te des signes conventionnels des ordonnées,

$$a_n\varepsilon_n = -a_{n-1}\varepsilon_{n-1} = -P\frac{l_n}{O_{n-1}A_{n-1}}.$$

[...]maintenant on porte $a_{n-1}\omega = O_{n-1}A_{n-1}$ et si on élève en ω [...]erpendiculaire $\omega\varsigma$ sur U_2U_2', on voit par la considération des [...]gles semblables $a_{n-1}a_n\varepsilon_n$ et $a_{n-1}\omega\varsigma$ que

$$\omega\varsigma = -P,$$

[...]gueur $\omega\varsigma$ étant lue à l'échelle des forces.

La droite $a_{n-1}\theta$ de la figure 26 est donc la même que celle $a_{n-1}\theta$ de la figure 25; la droite $a_n\delta$ lui est parallèle.

Cela posé, on voit qu'en tout point m de la travée de rive l_n, situé à gauche de C, l'ordonnée de la ligne d'influence de Θ est égale à la somme algébrique $mp + ms$, et qu'en tout point m_1 situé à droite de C, l'ordonnée en question est égale à la somme algébrique $m_1p_1 + m_1s_1$.

Pratiquement, au lieu de construire le diagramme $a_{n-1}\theta\delta a_n$, on en construira le symétrique $a_{n-1}\theta'\delta' a_n$ par rapport à $U_2U'_2$, de sorte que les segments de verticales compris entre ce second diagramme et la courbe $a_{n-1}pa_n$ seront égaux aux ordonnées correspondantes de la ligne d'influence de la quantité Θ.

On ramènera les segments de verticales à avoir leurs pieds tels que s' et s'_1, sur l'axe $U_2U'_2$; le lieu de leurs extrémités sera la ligne d'influence cherchée.

Remarque. — La courbe $a_npa_{n-1}ra_{n-2}$.... et les droites $a_{n-1}\varepsilon'_n$ et $a_n\varepsilon'_{n-1}$ sont indépendantes de la position de la section C dans la travée de rive. Elles font donc connaître les lignes d'influence de la quantité Θ relatives aux différentes sections de cette travée.

§ 61. — Lignes d'influence des réactions des appuis.

On pourrait déterminer directement les lignes d'influence des réactions des appuis, mais il est aussi simple de les déduire des lignes d'influence des efforts tranchants.

Soient, pour une position quelconque de la charge mobile, V_k la réaction de l'appui A_k, T_k l'effort tranchant dans la section située immédiatement à gauche de A_k, et T'_k l'effort tranchant dans la section située immédiatement à droite, on a

$$T_k = T'_k + V_k$$

d'où

$$V_k = T_k - T'_k.$$

Donc :

Les ordonnées de la ligne d'influence de la réaction d'un appui A_k s'obtiendront par différence entre les ordonnées de la ligne d'influence de l'effort tranchant T_k et les ordonnées correspondantes de la ligne d'influence de l'effort tranchant T'_k.

§ 62. — Cas particulier où la poutre continue est de section constante.

Ce cas particulier est caractérisé par la relation

(1) $$I = I_m = \text{constante}.$$

L'introduction de cette condition dans la méthode générale conduit à quelques simplifications que nous allons indiquer brièvement.

Les formules (b) et (b') du § 50 montrent que les points trisecteurs divisent alors les travées en trois parties égales.

D'autre part, la formule (a') du même paragraphe donne, pour valeur de la résultante trisectrice de gauche d'une travée de rang k quelconque,

$$\psi'_k = \frac{l_k^2}{2I}.$$

Par suite, la composante au foyer de gauche de la même travée [§ 50, formule (e')] a pour valeur

(2) $$\pi'_k = \frac{A_{k-1}g'_k \times \psi'_k}{u'_k} = \frac{l_k^3}{6Iu'_k}.$$

Quant aux forces fictives $z_1 \dfrac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ et $z_2 \dfrac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, considérées au § 56 pour le tracé des polygones funiculaires qui font connaître les lignes d'influence de M et de T en une section donnée, elles prennent les valeurs simples $z_1 \dfrac{1}{n}$ et $z_2 \dfrac{1}{n}$.

K_1H_1 et K_2H_2 désignant toujours les segments de verticales compris entre ces polygones funiculaires et leurs lignes de fermeture convenablement menées, on a, comme au § 56 (p. 532),

$$\frac{M_c}{O_kA_k} = P \times \frac{\dfrac{n\Delta x}{I_m} \times B_1}{O_kO'_k \times \pi'_k} \times K_1H_1,$$

$$T_c = P \times \frac{\dfrac{n\Delta x}{I_m} \times B_2}{O_kF'_k \times \pi'_k} \times K_2H_2.$$

Ou, à cause de (1) et de (2),

$$\frac{M_c}{O_kA_k} = \frac{6n\,\Delta x\,u'_k\,P \times B_1}{O_kO'_k \times l_k^3} \times K_1H$$

$$T = \frac{6n\,\Delta x\,u'_k\,P \times B_2}{O_kF'_k \times l_k^3} \times K_2H_2.$$

En remplaçant, comme au § 56, les quantités qui entrent dans ces formules par leurs expressions en fonction des longueurs brutes qui les représentent sur l'épure et des valeurs des échelles adoptées, il vient

$$\frac{M_c}{\overline{O_k A_k}} = \frac{6n\,\overline{\Delta x}\,\overline{u'_k}\,\overline{P} \times \overline{B}_1}{\overline{O_k O'_k} \times \overline{l}^3_k} \times \overline{K_1 H_1} \times f,$$

$$T_c = \frac{6n\,\overline{\Delta x}\,\overline{u'_k}\,\overline{P} \times \overline{B}_2}{\overline{O_k F'_k} \times \overline{l}^3_k} \times \overline{K_2 H_2} \times f.$$

Ces relations montrent que pour que les segments $\overline{K_1H_1}$ et $\overline{K_2H_2}$ représentent $\frac{M_c}{O_k A_k}$ et T_c à l'échelle des forces, c'est-à-dire soient égaux aux ordonnées des lignes d'influence cherchées, il suffit de prendre des distances polaires égales à

$$(3) \qquad \overline{B}_1 = \frac{\overline{O_k O'_k} \times \overline{l}^3_k}{6n\,\overline{\Delta x}\,\overline{u'_k}\,\overline{P}}, \qquad \overline{B}_2 = \frac{\overline{O_k F'_k} \times \overline{l}^3_k}{6n\,\overline{\Delta x}\,\overline{u'_k}\,\overline{P}}.$$

Remarque. — *Dans une poutre continue de section constante, les lignes d'influence du moment fléchissant et de l'effort tranchant se composent de branches de paraboles du troisième degré.* (*)

Cette proposition résulte immédiatement de ce que, I étant constant, les intensités des forces fictives $\frac{z_1}{I}\,dx$ et $\frac{z_2}{I}\,dx$ sont des fonctions linéaires des abscisses des points d'application de ces forces.

§ 63. — Poutre à une seule travée, encastrée horizontalement à ses extrémités.

Lemme. — *La poutre à une seule travée, encastrée horizontalement à ses deux extrémités, peut être considérée comme la forme limite d'une poutre continue horizontale à trois travées dont les longueurs des travées de rive tendent vers zéro.*

Soit une poutre à trois travées $A_{-1}A_0A_1A_2$ (*fig.* 26, p. 555).

Imaginons que les deux points d'appuis extrêmes A_{-1} et A_2 se rapprochent indéfiniment des points d'appuis intermédiaires A_0 et A_1. A la limite, la ligne moyenne de la poutre a deux points confondus en A_0 et deux points confondus en A_1 avec l'horizontale A_0A_1 ; autrement dit, elle est tangente en A_0 et en A_1 avec cette droite. La poutre satisfait dès lors à la définition de la poutre encastrée, ce qui justifie la proposition énoncée.

(*) Dans le cas particulier où la section considérée coïncide avec le centre fixe de la travée, les deux branches de parabole qui constituent la partie de la ligne d'influence du moment fléchissant comprise dans cette travée, sont du second degré seulement.

Ce lemme nous autorise à appliquer à la poutre encastrée les théorèmes démontrés pour la poutre continue, en introduisant dans ces théorèmes la condition caractéristique

$$\textit{limite de } l_0 = \textit{limite de } l_2 = 0 \ (^*).$$

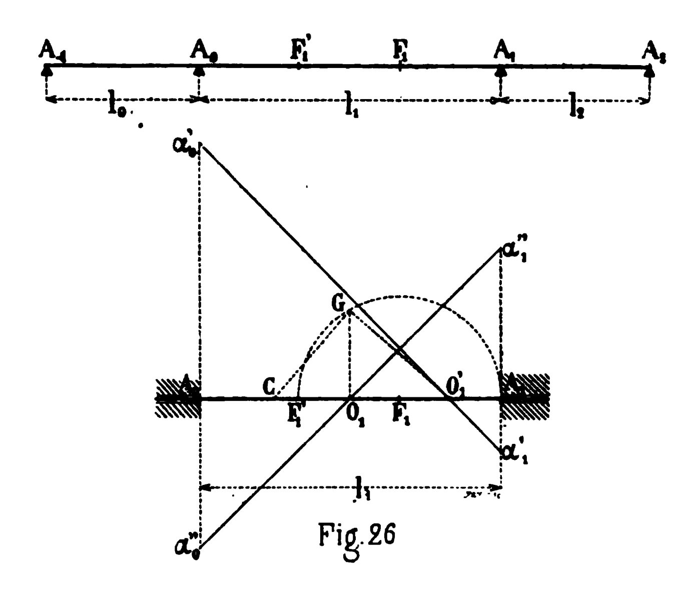


Fig. 26

Foyers. — Cherchons d'abord la position du foyer de gauche de la poutre encastrée. A cet effet, appliquons la formule 3 *bis* du § 50 aux deux travées l_0 et l_1 de la poutre continue $A_{-1}A_2$, en accentuant les lettres u et v, puisqu'il s'agit des foyers de gauche, et en tenant compte de ce que $v'_0 = l_0$, puisque le foyer de gauche de la travée de rive l_0 coïncide avec l'appui A_{-1} ; il vient

$$(1) \quad \left\{ \begin{aligned} & \frac{1}{l_0^2}\int_0^{l_0} \frac{(l_0 - x)x\,dx}{EI} + \frac{1}{u'_1 l_1}\int_0^{l_1} \frac{x(l_1 - x)\,dx}{EI} \\ & = \frac{1}{l_0}\int_0^{l_0} \frac{x\,dx}{EI} + \frac{1}{l_1}\int_0^{l_1} \frac{(l_1 - x)\,dx}{EI}. \end{aligned} \right.$$

Pour passer de la poutre continue à la poutre encastrée, il faut faire tendre l_0 vers zéro ; la valeur de u'_1 correspondante déterminera le foyer de gauche F'_1 de la poutre encastrée A_0A_1.

(*) La théorie de la poutre droite encastrée peut également se déduire de celle de l'arc encastré exposée au chapitre II.

Si on fait $l_0 = 0$ dans l'équation (1), le premier terme du premier membre et le premier terme du second se présentent sous la forme illusoire $\frac{0}{0}$. Levons ces indéterminations en appliquant la règle de L'Hospital.

Pour le calcul du premier terme du premier membre, on a successivement

$$(2)\qquad \frac{d\int_0^{l_0}\frac{(l_0-x)x\,dx}{EI}}{dl_0} = \left(\frac{(l_0-x)x}{EI}\right)_{x=l_0} + \int_0^{l_0}\frac{x\,dx}{EI} = \int_0^{l_0}\frac{x\,dx}{EI},$$

$$(3)\qquad \frac{d(l_0^2)}{dl_0} = 2l_0.$$

Pour $l_0 = 0$, les dérivées premières (2) et (3) s'annulent, en sorte que leur quotient se présente encore sous la forme $\frac{0}{0}$. Formons donc les dérivées secondes ; il vient

$$\frac{d^2\int_0^{l_0}\frac{(l_0-x)x\,dx}{EI}}{dl_0^2} = \left(\frac{x}{EI}\right)_{x=l_0} = \frac{l_0}{EI},$$

$$\frac{d^2(l_0^2)}{dl_0^2} = 2.$$

La vraie valeur du premier terme du premier membre de (1) est par conséquent

$$\left(\frac{l_0}{EI}\right)_{l_0=0} : \ 2 = 0.$$

Un calcul analogue au précédent montrerait que le premier terme du second membre est également nul.

Dès lors, l'équation (1) résolue par rapport à u_1' donne, en supprimant le coefficient d'élasticité constant E,

$$(4)\qquad u_1' = \frac{\int_0^{l_1}\frac{x(l_1-x)\,dx}{I}}{\int_0^{l_1}\frac{(l_1-x)\,dx}{I}}.$$

Cette expression est précisément celle de l'abscisse du point trisecteur de gauche de la travée l_1 [§ 50, formule *(b')*]. Donc :

Le foyer de gauche de la poutre encastrée coïncide avec le point trisecteur de gauche.

De même :

Le foyer de droite coïncide avec le point trisecteur de droite.

COMPOSANTE AU FOYER DE GAUCHE. — Le foyer de gauche coïncidant avec le point trisecteur de gauche, la composante au foyer de gauche est égale à la résultante trisectrice de gauche ; en sorte que

$$(5) \qquad \pi'_1 = \psi'_1 = \int_0^{l_1} \frac{l_1 - x}{I} dx.$$

CENTRE FIXE O_1 ET CENTRE O'_1 CORRESPONDANT A UNE SECTION C DONNÉE. — Ces points satisfont aux théorèmes I et II du § 52 qui en déterminent la position.

DIAGRAMMES DES z_1 ET DES z_2, — Ces diagrammes se réduisent à deux droites $\alpha'_0\alpha'_1$ et $\alpha''_0\alpha''_1$ (*fig.* 26), faisant avec A_0A_1 un angle de 45° dans le sens indiqué au § 54 et passant respectivement par O'_1 et par O_1.

THÉORÈMES RELATIFS AUX LIGNES D'INFLUENCE. — Examinons ce que devient le théorème II du § 54.

Quand les longueurs des travées de rive $A_{-1}A_0$ et A_1A_2 adjacentes à celle A_0A_1, tendent vers zéro, les lignes de fermeture menées dans ces travées aux courbes funiculaires des $\frac{z_1}{I} dx$ et des $\frac{z_2}{I} dx$ ont à la limite deux points confondus avec ces courbes, aux extrémités desquelles elles sont alors tangentes.

Donc :

Étant données une poutre A_0A_1 encastrée horizontalement à ses deux extrémités, parcourue par une charge mobile, et une section C arbitrairement choisie, si on applique successivement des efforts fictifs verticaux 1° $\frac{z_1}{I} dx$, 2° $\frac{z_2}{I} dx$, tout le long de la poutre, — z_1 et z_2 étant les ordonnées des droites $\alpha'_0\alpha'_1$ et $\alpha''_0\alpha''_1$, précédemment définies, — qu'avec des distances polaires arbitraires on construise les deux courbes funiculaires

respectivement relatives à ces efforts, qu'on mène les tangentes aux extrémités de ces courbes et qu'on limite ces tangentes à la verticale de la section C :

Les segments de verticales compris entre chacune de ces courbes et les tangentes y relatives sont respectivement proportionnels aux ordonnées des lignes d'influence du moment fléchissant et de l'effort tranchant développés dans la section C.

On voit immédiatement que les théorèmes I et II du § 55 prennent la forme suivante dans le cas de la poutre encastrée :

1° *Les tangentes aux extrémités de la courbe funiculaire des* $\frac{z_1}{I}dx$ *se coupent sur la verticale de la section* C.

2° *Les tangentes aux extrémités de la courbe funiculaire des* $\frac{z_2}{I}dx$ *sont parallèles.*

CONSTRUCTION DES LIGNES D'INFLUENCE. — La construction des lignes d'influence s'effectuera conformément aux indications du § 56.

Toutefois, les lignes de fermeture des polygones funiculaires des forces fictives $z_1 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ et $z_2 \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$ seront remplacées par les prolongements des côtés extrêmes de ces polygones, ainsi qu'il résulte des deux théorèmes qui précèdent.

Les distances polaires à adopter sont, en vertu des formules *(a)* et *(b)* du § 56,

$$(6) \qquad \overline{B}_1 = \frac{\overline{O_1 O'_1} \times \overline{\Psi'_1}}{\overline{P}} \quad \text{et} \quad \overline{B}_2 = \frac{\overline{O_1 F'_1} \times \overline{\Psi'_1}}{\overline{P}},$$

puisque, pour la poutre encastrée, $\pi'_1 = \psi'_1$ et que par suite $\Pi'_1 = \Psi'_1$.

CAS PARTICULIER OU LA POUTRE EST DE SECTION CONSTANTE.

Les foyers qui coïncident avec les points trisecteurs divisent alors la poutre en trois parties égales. Par suite, le centre fixe O_1 est au milieu de la portée, puisqu'il divise dans le même rapport la longueur l_1 de la travée et la distance focale *(fig. 27, p. 559)*.

La relation anharmonique (l') du § 52

$$\frac{O'_k F_k}{O'_k F'_k} \times \frac{O_k F'_k}{O_k F_k} = \frac{CA_{k-1}}{CA_k}$$

se réduit ici à

$$\frac{\overline{O'_1F_1}}{\overline{O'_1F'_1}} = -\frac{\overline{CA_0}}{\overline{CA_1}},$$

puisque

$$O_1F'_1 = - O_1F_1.$$

Cette proportion peut s'écrire, d'après la figure,

$$\frac{O'_1O_1 + O_1F_1}{O'_1O_1 + O_1F'_1} = \frac{-(CO_1 + O_1A_0)}{CO_1 + O_1A_1};$$

mais

$$O_1F_1 = - O_1F'_1 = \frac{l_1}{6}, \qquad - O_1A_0 = O_1A_1 = \frac{l_1}{2};$$

donc

$$\frac{O'_1O_1 + \frac{l_1}{6}}{O'_1O_1 - \frac{l_1}{6}} = \frac{-CO_1 + \frac{l_1}{2}}{CO_1 + \frac{l_1}{2}};$$

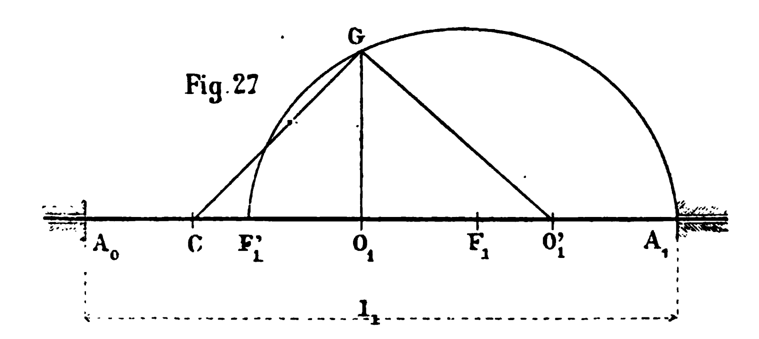
d'où l'on tire

$$O'_1O_1 \times CO_1 = -\frac{l_1^2}{12},$$

ou

$$(7) \qquad CO_1 \times O_1O'_1 = \frac{l_1^2}{12}.$$

Cette formule conduit à une construction très simple du centre O'_1 correspondant à la section C (*fig.* 27) :



De F_1 comme centre, avec un rayon égal à $F'_1F_1 = F_1A_1 = \frac{l_1}{3}$, décrivons une demi-circonférence qui coupe en un point G la verticale du centre fixe O_1. On a

$$(O_1G)^2 = F'_1O_1 \times O_1A_1 = \frac{l_1}{6} \times \frac{l_1}{2} = \frac{l_1^2}{12}$$

L'équation (7) devient donc

$$CO_1 \times O_1O'_1 = (O_1G)^2.$$

Il en résulte que, pour déterminer le centre O'_1 correspondant à une section C, il suffit de joindre CG et de mener à cette droite une perpendiculaire en G, qui coupe A_0A_1 au point O'_1 cherché.

Les forces fictives à considérer pour la construction des lignes d'influence ont pour valeurs $\frac{1}{n}z_1$ et $\frac{1}{n}z_2$, comme dans le cas de la poutre continue de section constante; et les distances polaires à adopter ont pour valeurs, en vertu des formules (3) du § 62,

$$\overline{B_1} = \frac{\overline{O_1O'} \times \overline{l_1^2}}{2n\overline{\Delta x}\,\overline{P}} \quad \text{et} \quad \overline{B_2} = -\frac{\overline{l_1^3}}{12n\overline{\Delta x}\,\overline{P}},$$

puisque dans la poutre encastrée

$$u'_1 = \frac{l_1}{3} \quad \text{et} \quad O_1F'_1 = -\frac{l_1}{6}.$$

Note I

SUR QUELQUES PROPRIÉTÉS RELATIVES A L'ARC ENCASTRÉ A SES DEUX EXTRÉMITÉS

Propriétés des droites qui joignent les centres.

1. — Théorème. — *La fibre moyenne de l'arc étant considérée comme une ligne matérielle dont le poids rapporté à l'unité de longueur serait, en chaque point, égal à* $\frac{1}{I}$, *si le point* C *décrit cette ligne en entraînant d'un mouvement de translation deux axes rectangulaires quelconques* Cx *et* Cy:

1° *Les droites fixes* $o'o''$ *et* $o'o'''$ *correspondant à ces directions d'axes* (§ 46. — Théorème I), *sont les diamètres respectivement conjugués aux cordes parallèles à l'axe des* x *et aux cordes parallèles à l'axe des* y, *par rapport à l'ellipse centrale d'inertie de la fibre moyenne ;*

2° *La droite mobile* $o''o'''$ *est constamment l'antipolaire du point mobile* C, *par rapport à la dite ellipse, à condition toutefois de prendre pour longueurs du grand axe et du petit axe de celle-ci, les rayons de giration principaux de la fibre moyenne.*

Soient u' et v' les coordonnées courantes des trois droites $o'o''$, $o'o'''$ et $o''o'''$, par rapport à deux axes $o'x'$ et $o'y'$ parallèles à Cx et à Cy (pl. 200, *fig. 3*). (Nous réservons les notations x' et y' pour désigner les coordonnées d'un point quelconque de la ligne moyenne par rapport à ces mêmes axes.)

(γ'',δ''), (γ''',δ''') désignant, comme au § 46, les coordonnées des centres o'' et o''' relativement à $o'x'$ et $o'y'$, les équations des droites dont il s'agit sont les suivantes :

$$(o'o'')\qquad \frac{v'}{u'}=\frac{\delta''}{\gamma''},$$

$$(o'o''')\qquad \frac{v'}{u'}=\frac{\delta'''}{\gamma'''},$$

$$(o''o''')\qquad \frac{v'-\delta''}{u'-\gamma''}=\frac{\delta'''-\delta''}{\gamma'''-\gamma''},$$

Remplaçons $\gamma'',\delta'',\gamma''',\delta'''$, par leurs valeurs ($d$) du § 46 (p. 469); il vient :

$$(1)\qquad (o'o'')\qquad B'^2u'-C'^2v'=0,$$

$$(2)\qquad (o'o''')\qquad C'^2u'-A'^2v'=0,$$

$$(3)\qquad (o''o''')\qquad u'(B'^2c'-C'^2d')+v'(A'^2d'-C'^2c')+C'^4-A'^2B'^2=0.$$

où :

$$(4)\qquad A'^2=\frac{\int_A^B \frac{x'^2}{I}ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}},\quad B'^2=\frac{\int_A^B \frac{y'^2}{I}ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}},\quad C'^2=\frac{\int_A^B \frac{x'y'}{I}ds}{\int_A^B \frac{ds}{I}}:$$

Cela posé, d'après la théorie des coniques d'inertie, l'équation de l'ellipse centrale de la fibre moyenne considérée comme ligne pesante, est, relativement aux axes rectangulaires $o'x'$, $o'y'$ qui passent par le centre de gravité o' de cette ligne,

$$(5) \qquad f(u',v') = B'^2u'^2 + A'^2v'^2 - 2C'^2u'v' - D'^4 = 0,$$

où A'^2, B'^2, C'^2 sont des constantes ayant les valeurs indiquées ci-dessus.

A' et B' sont les rayons de giration de la ligne moyenne pesante respectivement autour des axes $o'y'$ et $o'x'$.

D' est une constante arbitraire dont nous fixerons plus tard la valeur.

Cette ellipse, rapportée à ses axes de symétrie, c'est-à-dire aux axes principaux d'inertie que nous désignerons par $o'u$ et $o'v$, a pour équation

$$(6) \qquad f(u,v) = B^2u^2 + A^2v^2 - D'^4 = 0,$$

où A et B sont les rayons de giration principaux et où D'^4 a la même valeur que ci-dessus.

A et B sont liés à A', B' et C' par la relation

$$C'^4 - A'^2B'^2 = - A^2B^2,$$

puisque la quantité caractéristique d'une courbe du second ordre est un invariant.

Ainsi qu'il est d'usage, attribuons à la constante arbitraire D'^4 la valeur

$$D'^4 = A^2B^2 = A'^2B'^2 - C'^4;$$

les équations (5) et (6) de l'ellipse d'inertie deviennent

$$(5\ bis) \quad f(u',v') = B'^2u'^2 + A'^2v'^2 - 2C'^2u'v' + C'^4 - A'^2B'^2,$$

$$(6\ bis) \qquad f(u,v) = B'^2u^2 + A^2v^2 - A^2B^2 = 0,$$

et les longueurs des demi-axes de symétrie de l'ellipse centrale sont alors égales aux rayons de giration principaux A et B.

L'équation du diamètre de l'ellipse (5 *bis*), conjugué aux cordes parallèles à $o'x'$ est

$$(7) \qquad \frac{1}{2}f'_{u'} = 0, \quad \text{ou} \quad B'^2u' - C'^2v' = 0.$$

Celle du diamètre conjugué aux cordes parallèles à $o'y'$ est

$$(8) \qquad \frac{1}{2}f'_{v'} = 0, \quad \text{ou} \quad A'^2v' - C'^2u' = 0.$$

Ces équations sont précisément celles (1) et (2) des droites $(o'o'')$ et $o\,o''')$, ce qui démontre la première partie du théorème.

L'équation de la polaire d'un point quelconque $(u'_1v'_1)$ par rapport à l'ellipse (5 *bis*), est, en coordonnées homogènes,

$$\frac{1}{2}u'f'_{u'_1} + \frac{1}{2}v'f'_{v'_1} + \frac{1}{2}t'f'_{t'_1} = 0,$$

dans laquelle $t' = t'_1 = 1$;

"

$$u'(B'^2u'_1 - C'^2v'_1) + v'(A'^2v'_1 - C'^2u'_1) + C'^4 - A'^2B'^2 = 0.$$

L'antipolaire du point (u'_1, v'_1) étant la droite symétrique de la polaire par rapport au centre o' de l'ellipse, son équation est

$$(9) \quad u'(B'^2u'_1 - C'^2v'_1) + v'(A'^2v'_1 - C'^2u'_1) - (C'^4 - A'^2B'^2) = 0.$$

Les coordonnées du point o' sont c' et d' par rapport aux axes Cx et Cy; celles du point C par rapport aux axes $o'x'$ et $o'y'$, sont donc égales à $(-c')$ et $(-d')$; substituant ces dernières coordonnées à celles u'_1 et v'_1 dans (9), il vient, pour équation de l'antipolaire de C,

$$u'(B'^2c' - C'^2d') + v'(A'^2d' - C'^2c') + C'^4 - A'^2B'^2 = 0.$$

Cette équation est précisément celle de $o''o'''$, ce qui justifie le 2° du théorème.

On peut encore énoncer le théorème qui précède sous la forme suivante :

Les droites $o'o''$, $o'o'''$ et $o''o'''$ sont respectivement les antipolaires 1° du point à l'infini de Cx, 2° du point à l'infini de Cy, 3° du point C, par rapport à l'ellipse centrale d'inertie de la fibre moyenne.

En effet $o'o''$, par exemple, étant le diamètre conjugué aux cordes parallèles à Cx, par rapport à l'ellipse centrale, peut être regardé comme l'antipolaire du point à l'infini de Cx.

Corollaire I. — *Les centres o'' et o''' sont respectivement les antipôles des axes Cx et Cy par rapport à l'ellipse centrale d'inertie de la fibre moyenne.*

Le point o'', par exemple, est bien l'antipôle de Cx, puisqu'il appartient à la fois à $o'o''$, qui est l'antipolaire du point à l'infini de la droite Cx, et à $o''o'''$ qui est l'antipolaire du point C de cette même droite.

Corollaire II. — *Lorsque le point C décrit la ligne moyenne de l'arc, la droite mobile $o''o'''$ enveloppe la courbe antipolaire réciproque de ladite ligne moyenne par rapport à l'ellipse centrale d'inertie.*

Remarque. — *Si la ligne moyenne est une branche de conique* (ellipse, cercle, hyperbole, parabole), *l'enveloppe de la droite mobile $o''o'''$ est une ellipse.*

On sait, en effet, que la polaire réciproque d'une conique S, par rapport à une conique Σ, est une autre conique S′, laquelle est une ellipse lorsque le centre de la conique Σ est situé à l'intérieur de la conique S. Il en est de même de l'antipolaire réciproque, qui est la courbe symétrique de la polaire réciproque S′ par rapport au centre de la conique Σ.

Ici, la conique S est la ligne moyenne de l'arc ; la conique Σ est l'ellipse centrale d'inertie dont le centre est toujours situé à l'intérieur de la ligne moyenne.

Théorème relatif à la droite *(c)* utilisée au § 48 pour la détermination de la ligne d'influence de la tension élastique par unité de surface développée en un point donné d'une fibre arbitrairement choisie.

2. Définition. — Soient : C le centre de gravité d'une section normale quelconque (Pl. 200, *fig. 3*) ; F l'intersection de la fibre considérée avec cette section ; v la distance CF, positive si F est au-dessous de C, négative

dans le cas contraire ; ρ le rayon de giration de la section autour d'un axe horizontal passant par C.

Construisons un point J tel que

$$CF \times CJ = -\rho^2 ;$$

ou, en représentant par t la distance CJ, qui sera regardée comme positive ou comme négative suivant que J sera au-dessous ou au-dessus de C,

$$(10) \qquad v \times t = -\rho^2.$$

On voit que J n'est autre chose que le *transformé du point* F *par rayons vecteurs réciproques*, le point C étant le pôle de transformation.

Nous appellerons le point J *point réciproque de* F.

Pour le déterminer géométriquement, il suffit de porter sur la tangente en C à la ligne moyenne $C\theta = \rho$, de joindre $F\theta$ et de mener par θ une perpendiculaire à $F\theta$, laquelle rencontre FC au point J cherché. (*)

Théorème. — *La droite (c) utilisée au* § 48 *pour la détermination de la ligne d'influence de la tension élastique par unité de surface développée en un point* F *quelconque d'une fibre donnée, est l'antipolaire du point réciproque de* F, *par rapport à l'ellipse centrale d'inertie de la fibre moyenne.*

L'équation de la droite *(c)*, ou *ts* (*fig. 3* — Pl. 200), rapportée aux axes Cx et Cy, est (§ 48)

$$(c) \quad Z = \frac{\frac{vb}{\rho} \times \frac{1}{(o'q')\varphi'} z' - \cos\alpha \frac{1}{(o''q'')\varphi''} z'' + \sin\alpha \frac{1}{(o'''q''')\varphi'''} z'''}{\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\varphi'} - \cos\alpha \frac{1}{(o''q'')\varphi''} + \sin\alpha \frac{1}{(o'''q''')\varphi'''}}$$

Transformons-la, en y remplaçant les produits $(o'q')\varphi'$, $(o''q'')\varphi''$, $o'''q''')\varphi'''$, par leurs valeurs en fonction des paramètres A'^2, B'^2, C'^2 de l'ellipse centrale d'inertie de la ligne moyenne.

Le second et le troisième produits sont donnés par les formules *(k)* du § 46 (page 472), savoir :

$$(11) \quad (o''q'')\varphi'' = \left(-B'^2 + \frac{C'^4}{A'^2}\right)\int_A^B \frac{ds}{I}, \quad (o'''q''')\varphi''' = \left(-C'^2 + \frac{A'^2B'^2}{C'^2}\right)\int_A^B \frac{ds}{I}.$$

D'autre part, on a [§ 37, page 438, formule *(e)*]

$$(12) \qquad \varphi' = \int_A^B \frac{bds}{I};$$

de plus, $o'q'$ est l'ordonnée à l'origine de la droite $o''o'''$ rapportée aux axes $o'x'$ et $o'y'$, droite qui est représentée par l'équation (3) *(n° 1)*; cette équation donne

$$(13) \qquad o'q' = \frac{A'^2B'^2 - C'^4}{A'^2d' - C'^2c'}.$$

Portons ces valeurs (11), (12) et (13) dans l'équation de la droite *(c)*;

(*) La construction n'est pas indiquée sur la figure 3—Pl 200.

il vient en supprimant les facteurs communs $\int_A^B \frac{ds}{I}$ et $A'^2B'^2 - C'^4$, et en remplaçant $\frac{v}{\rho^2}$ par sa valeur $-\frac{1}{t}$ tirée de (10),

$$(c') \quad Z = \frac{-(A'^2d' - C'^2c')\, z' + A'^2t \cos\alpha\, z'' + C'^2t \sin\alpha\, z'''}{-(A'^2d' - C'^2c') + A'^2t \cos\alpha + C'^2t \sin\alpha}.$$

Cherchons maintenant ce que devient l'équation de la droite *(c)* quand on la rapporte aux deux axes $o'x'$, $o'y'$ parallèles à Cx et à Cy et passant par le centre fixe o'.

Soit V' une ordonnée quelconque de la droite *(c)* relativement à ces nouveaux axes, on a

$$Z = V' + d',$$

puisque d' est l'ordonnée du centre o' par rapport aux anciens axes Cx et Cy.

D'autre part z' désigne une ordonnée quelconque de la droite $o''o'''$ relativement aux axes Cx et Cy, tandis que nous avons désigné *(n° 1)* par u' et v' les coordonnées d'un point quelconque de cette droite relativement aux axes $o'x$ et $o'y$. On a donc

$$z' = v' + d',$$

ou, en tirant v' de l'équation (3) de $o''o'''$ *(n° 1)*,

$$z' = \frac{(A'^2B'^2 - C'^4) - (B'^2c' - C'^2d')\, u'}{A'^2d'^2 - C'^2c'} + d'.$$

De même z'' désigne une ordonnée quelconque de la droite $o'o'''$ relativement aux axes Cx et Cy ; en effectuant la même transformation que pour z', il vient, en tenant compte de l'équation (2) de $o'o'''$,

$$z'' = \frac{C'^2}{A'^2}\, u' + d'.$$

Enfin, on trouve également, en utilisant l'équation (1) de $o'o''$,

$$z''' = \frac{B'^2}{C'^2}\, u' + d'.$$

Substituant les valeurs ci-dessus de Z, z', z'' et z''' dans l'équation *(c')*, il vient, après réductions,

$$(c'') \quad V' = \frac{[-B'^2(c' + t\sin\alpha) + C'^2(d' - t\cos\alpha)]\, u' + A'^2B'^2 - C'^4}{A'^2(d' - t\cos\alpha) - C'^2(c' + t\sin\alpha)},$$

ou

$$u'\,[B'^2(c' + t\sin\alpha) - C'^2(d' - t\cos\alpha)]$$
$$+ V'\,[A'^2(d' - t\cos\alpha) - C'^2(c' + t\sin\alpha)] + C'^4 - A'^2B'^2 = 0;$$

telle est l'équation de la droite *(c)* rapportée aux axes $o'x'$ et $o'y'$.

Or, si on représente par u'_J et v'_J les coordonnées du point réciproque J, par rapport à ces mêmes axes, on a

$$c' + t\sin\alpha = -u'_J, \quad d' - t\cos\alpha = -v'_J. \ (*)$$

(*) Il convient de rappeler que α désigne (§ 48) l'angle de la partie descendante de la normale en C à la ligne moyenne avec la verticale descendante du point C, et que cet angle est regardé comme positif s'il est situé à gauche de cette verticale et comme négatif dans le cas contraire.

L'équation de la droite *(c)* peut donc finalement s'écrire

$$u' (B'^2 u'_J - C'^2 v'_J) + V' (A'^2 v'_J - C'^2 u'_J) - (C'^4 - A'^2 B'^2) = 0.$$

En rapprochant cette équation, de l'équation générale (9) *(n° 1)* de l'antipolaire d'un point quelconque (u'_1, v'_1) par rapport à l'ellipse centrale d'inertie de la fibre moyenne, on voit immédiatement que, u' et V' étant les coordonnées courantes, elle représente l'antipolaire du point (u'_J, v_J'), c'est-à-dire du point réciproque J; — ce qui démontre le théorème énoncé.

Corollaire I. — *Les droites* (c) *à utiliser pour la détermination des lignes d'influence des tensions élastiques par unité de surface développées aux divers points, tels que* F, *d'une section transversale donnée, de centre de gravité* C, *concourent en un même point, qui est l'antipôle de la normale en* C *à la ligne moyenne par rapport à l'ellipse centrale d'inertie de cette ligne.*

En effet, les points réciproques J des points F de la section étant situés sur une ligne droite, qui est la normale en C à la ligne moyenne, les antipolaires (c) correspondantes passent, en vertu d'un théorème connu, par l'antipôle de cette droite.

Corollaire II. — *Ligne d'influence de la tension longitudinale totale relative à une section donnée.*

Il résulte de la formule de définition (10) que le point réciproque du centre de gravité C d'une section donnée, est le point à l'infini de la normale en C à la ligne moyenne. La droite (c), à employer pour la construction de la ligne d'influence de la tension élastique par unité de surface en C, est, en vertu du théorème précédent, l'antipolaire de ce point à l'infini, c'est-à-dire le diamètre de l'ellipse centrale d'inertie conjugué à la direction de la normale en C à la ligne moyenne.

D'autre part, N représentant la tension longitudinale totale relative à la section de centre de gravité C, la tension élastique par unité de surface en C, a pour expression

$$R_c = \frac{N}{S_c};$$

les quantités N et R sont, par conséquent, proportionnelles, et il en est de même des ordonnées correspondantes de leurs lignes d'influence.

Donc :

Étant donnée une section, de centre de gravité C, *si on applique tout le long de la ligne moyenne de l'arc des forces fictives verticales* $\frac{y-z}{I}ds$, — $(y-z)$ *désignant les segments de verticales compris entre la ligne moyenne et le diamètre de l'ellipse centrale d'inertie conjugué à la direction de la normale en* C *à la dite ligne moyenne, — qu'avec une distance polaire convenablement choisie on trace la courbe funiculaire correspondante à ces efforts, qu'on mène les tangentes aux extrémités de cette courbe, et qu'on limite ces tangentes à la verticale de* C : *les segments de verticales compris entre cette courbe funiculaire et ces tangentes, sont égaux aux ordonnées de la ligne d'influence de la tension longitudinale totale relative à la section considérée.*

Remarque. — Le théorème qui précède et ses deux corollaires ont été démontrés pour le cas le plus complexe où l'arc est de structure dissymétrique. Ces propositions restent vraies dans le cas particulier où l'arc est symétrique par rapport à la verticale du milieu de la corde.

Remarque sur l'application des théorèmes qui précèdent.

3. — Toutes les fois qu'on se proposera de tracer les lignes d'influence de M, de X, de Y, ou de R, pour plusieurs sections et pour plusieurs fibres de l'arc, il sera avantageux de construire d'abord l'ellipse centrale d'inertie de la fibre moyenne ; puis de déterminer les droites $o''o'''$, $o'o'''$, $o'o''$, ou (c), en s'appuyant sur les théorèmes que nous venons d'énoncer.

La construction de l'ellipse centrale d'inertie s'effectue conformément à des règles connues.

Cette opération est en général assez simple, parce que dans la majorité des cas, l'arc admet un axe de symétrie ; de sorte qu'après avoir cherché la situation du centre o' sur cet axe, on connait la *position* des deux axes de l'ellipse centrale, dont il ne reste plus à déterminer que la *grandeur*.

Quant aux droites $o''o'''$, $o'o'''$, $o'o''$ et (c), les propriétés élémentaires de l'ellipse en fournissent la détermination.

Expression simple de la distance polaire à adopter pour la construction des lignes d'influence des tensions élastiques par unité de surface.

4. — Les considérations qui précèdent permettent de donner à la distance polaire $\overline{B}$, à prendre pour le tracé de la ligne d'influence de la tension élastique R en un point d'une fibre quelconque, une expression plus simple et plus facile à calculer ou à construire, que celle indiquée au § 48.

Nous avons vu à ce paragraphe qu'on devait adopter

$$\overline{B} = \frac{\overline{m} \times \overline{m}'}{\overline{p}},$$

le produit $m \times m'$ étant d'ailleurs tiré de la relation (d) du même paragraphe, savoir :

$$(d) \qquad \frac{1}{m \times m'} = \frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\,\Phi'} - \frac{\cos\alpha}{(o''q'')\,\Phi''} + \frac{\sin\alpha}{(o'''q)'''\,\Phi'''}.$$

Remplaçons dans cette relation Φ', Φ'', Φ''', en fonction de φ', φ'', φ''' : il vient

$$\frac{1}{m \times m'} = \frac{n\Delta s}{I_m}\left[\frac{vb}{\rho^2} \times \frac{1}{(o'q')\,\varphi'} - \frac{\cos\alpha}{(o''q'')\,\varphi''} + \frac{\sin\alpha}{(o'''q''')\,\varphi'''}\right];$$

remplaçons-y également $(o'q')\varphi'$, $(o''q'')\varphi''$, $(o'''q''')\varphi'''$ par leurs valeurs

fournies par (11), (12) et (13) du n° 2, et $\frac{v}{\rho^2}$ par $-\frac{1}{t}$; nous obtenons, après quelques transformations simples,

$$m \times m' = \frac{-t\,(A'^2B'^2 - C'^4)}{A'^2(d' - t\cos\alpha) - C'^2(c' + t\sin\alpha)} \times \frac{I_m}{n\Delta s}\int_A^B \frac{ds}{I}.$$

Or, si on calcule l'ordonnée à l'origine $o'Q$ (Pl. 200, *fig.* 3) de la droite (c) ou ts rapportée aux axes $o'x'$ et $o'y'$, en faisant $u' = 0$ dans l'équation (c'') du n° 2, on trouve

$$o'Q = \frac{A'^2B'^2 - C'^4}{A'^2(d - t\cos\alpha) - C'^2(c' + t\sin\alpha)}.$$

On peut par suite écrire

$$m \times m' = -t \times o'Q \times \frac{I_m}{n\Delta s}\int_A^B \frac{ds}{I} = -\frac{t}{b}\,(o'Q)\,\frac{I_m}{n\Delta s}\int_A^B \frac{bds}{I}.$$

Mais (§ 38, formule 2)

$$\int_A^B \frac{bds}{I} = \varphi' = \frac{n\Delta s}{I_m}\,\Phi';$$

donc

$$m \times m' = -\frac{t}{b}\,(o'Q)\,\Phi',$$

ou

$$\overline{m} \times \overline{m}' = -\frac{\overline{t}}{\overline{b}}(\overline{o'Q})\,\overline{\Phi}'.$$

En substituant dans l'expression de $\overline{B}$, on a finalement

$$\overline{B} = -\frac{\overline{t}}{\overline{b}} \times \frac{(\overline{o'Q})\,\overline{\Phi}'}{\overline{p}}.$$

Dans cette formule $\overline{t}$, $\overline{b}$ et $\overline{p}$ sont des quantités connues; $\overline{o'Q}$ et $\overline{\Phi}'$ se lisent sur l'épure.

Cette nouvelle expression de B est plus simple que celle du § 48, puisqu'elle n'exige pas le calcul du produit $m \times m'$ au moyen de la relation (*d*).

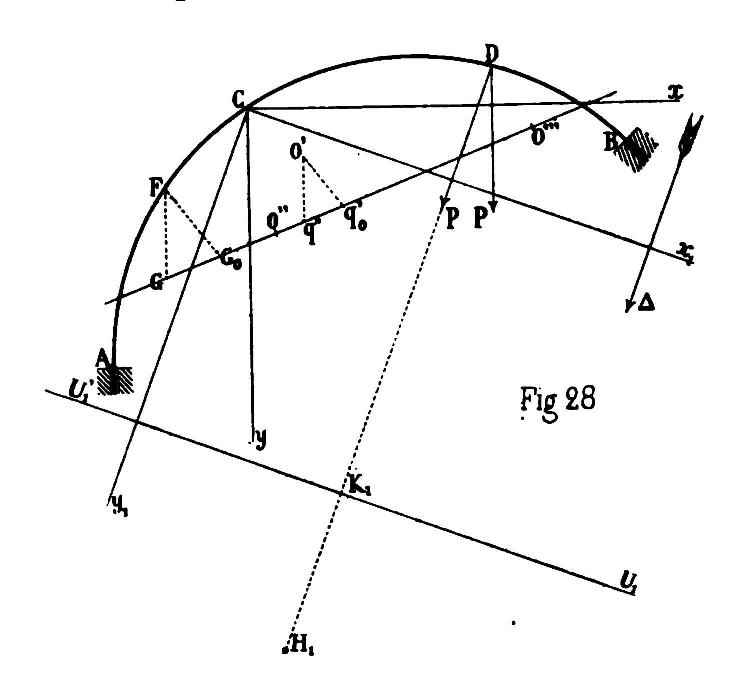
Remarque. — Elle reste exacte dans le cas particulier où l'arc est de structure symétrique par rapport à la verticale du milieu de la corde.

Remarque sur les valeurs des forces fictives et des distances polaires à employer pour la construction des lignes d'influence.

5. — Considérons, pour fixer les idées, la ligne d'influence du moment fléchissant M développé en une section C.

La distance polaire à employer et les forces fictives à appliquer aux milieux tels que F (*fig. 28*) des divisions Δs de la ligne moyenne de l'arc, ont pour expressions (§ 45)

$$\overline{B}' = \frac{\overrightarrow{o'q'} \times \overline{\Phi}'}{\overline{P}} \quad \text{et} \quad (y - z') \frac{\frac{1}{n} I_m}{I} = GF \times \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}.$$



Par o' et par F, menons des parallèles $o'q'_0$ et FG_0 à une direction arbitrairement choisie ; on a

$$\frac{o'q'_0}{o'q'} = \frac{G_0F}{GF};$$

ce rapport est indépendant de la position du point G sur la ligne moyenne : désignons-le par γ.

D'après une propriété connue des polygones funiculaires, nous ne changerons rien au polygone d'où se déduit la ligne d'influence de M, en multipliant la distance polaire $\overline{B}'$ et les forces fictives $GF \times \frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, par le facteur constant γ, c'est-à-dire en leur attribuant les valeurs

$$B'_1 = \frac{\overline{o'q'} \times \overline{\Phi}'}{\overline{P}} \times \frac{\overline{o'q_0}}{\overline{o'q'}} = \frac{\overline{o'q'_0} \times \overline{\Phi}'}{\overline{P}} \quad \text{et} \quad GF \times \frac{\frac{1}{n} I_m}{I} \times \frac{G_0F}{GF} = G_0F \times \frac{\frac{1}{n} I_m}{I},$$

qui ne diffèrent des valeurs primitives, que par la substitution des lignes parallèles $o'q'_0$ et G_0F, de direction arbitrairement choisie, aux lignes verticales $o'q'$ et GF.

On pourra, en particulier, remplacer, dans les expressions de la distance polaire et des forces fictives, les segments de verticales $o'q'$ et GF, par les longueurs des perpendiculaires abaissées de o' et de G sur $o''o'''$. Cette substitution sera avantageuse, au point de vue de l'exactitude matérielle des constructions, toutes les fois que la droite $o''o'''$ fera un angle assez aigu avec la verticale.

La même remarque s'applique aux distances polaires et aux forces fictives à considérer pour la détermination des lignes d'influence de X, de Y, de R et de N.

Généralisation des théorèmes sur les lignes d'influence : lignes d'influence relatives à des forces de directions différentes.

6. — Les lignes d'influence dont nous nous sommes occupés jusqu'à présent sont relatives à une charge verticale P.

On peut généraliser la définition des lignes d'influence en considérant une force d'intensité P (*fig. 28*, p. 569), de direction donnée Δ, se déplaçant parallèlement à elle-même, tandis que son point d'application D décrit la ligne moyenne de l'arc.

La ligne d'influence d'un effort élastique d'espèce quelconque, développé en une section C (moment fléchissant, composante horizontale ou verticale de la résultante des tensions élastiques, etc.) est alors le lieu des points H_1 obtenus en projetant orthogonalement les points d'application D de la force mobile, sur un axe $U_1U'_1$ perpendiculaire à la direction Δ, et en portant en ordonnées, à partir des points K_1 ainsi déterminés, des longueurs K_1H_1 représentant les valeurs correspondantes de l'effort élastique en question.

Cela posé, remarquons que, dans la théorie des lignes d'influence relatives à une charge verticale, nous n'avons imposé aucune corrélation entre la forme géométrique de l'arc et la direction de la verticale. Les résultats de cette théorie sont donc applicables aux lignes d'influence relatives à une force de direction Δ arbitrairement choisie.

Il est sous-entendu que les axes Cx et Cy, précédemment considérés, doivent alors être remplacés par deux axes Cx_1 et Cy_1 respectivement perpendiculaire et parallèle à Δ, et que les forces fictives verticales doivent être remplacées par des forces parallèles à Δ.

Enfin, il résulte des directions données aux nouveaux axes, que les segments de verticales, tels que $y - z'$, $y - z''$....., qui entrent dans les valeurs des forces fictives, et ceux tels que $o'q'$, $o''q''$....., qui entrent dans les valeurs des distances polaires B', B''...., doivent être remplacés par des segments $y_1 - z'_1$, $y_1 - z''_1$ ..... $o'q'_1$, $o''q''_1$..... mesurés sur des parallèles à Δ.

Toutefois, la remarque du n° 5 montre que cette dernière condition n'est pas indispensable et qu'on peut mesurer les segments en question sur des parallèles à une direction arbitrairement choisie.

THÉORÈME. — 1° *Les différents polygones funiculaires d'où se déduisent les lignes d'influence du moment fléchissant en une section C, relatives à des forces de directions Δ différentes, peuvent être tracés en conservant des valeurs constantes aux forces fictives et à la distance polaire. Les lignes d'action des forces fictives changent seules, en pivotant autour de leurs points d'application respectifs, de manière à être constamment parallèles à Δ;*

2° *La même proposition s'applique aux polygones funiculaires d'où se déduisent les lignes d'influence de la tension élastique par unité de surface en un point donné d'une fibre de l'arc, et à ceux d'où se déduisent les lignes d'influence de la tension longitudinale totale en une section donnée.*

Nous ne démontrerons que le 1°; le 2° se justifierait de la même manière.

La position de la droite $o''o'''$, antipolaire de C par rapport à l'ellipse centrale d'inertie de la ligne moyenne, est indépendante de la direction Δ de la force mobile.

D'autre part, — ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, — nous sommes maîtres, pour le tracé de chacune des courbes funiculaires considérées, de la direction suivant laquelle doivent être mesurés les segments de droites, tels que G_0F et $o'q'_0$, qui entrent dans les valeurs

$$G_0F \times \frac{\frac{1}{n} I_m}{I} \text{ et } \frac{o'q'_0 \times \Phi'}{P}$$ des forces fictives et de la distance polaire à adopter.

Nous pouvons, par conséquent, mesurer ces segments suivant une direction unique pour tous les polygones funiculaires. Les longueurs G_0F et $o'q'_0$ sont dès lors constantes, à cause de la fixité de $o''o'''$; et il en est de même des valeurs des forces fictives et de la distance polaire correspondantes aux différents polygones, puisque $\frac{\frac{1}{n} I_m}{I}$, Φ' et P sont des quantités invariables.

Théorème relatif aux variations de température.

7. — *La ligne d'action commune des réactions développées aux encastrements par une variation de température, coïncide avec le diamètre de l'ellipse centrale d'inertie de la fibre moyenne, conjugué à la direction perpendiculaire à la corde de l'arc.*

Cette proposition résulte immédiatement du rapprochement du théorème du § 49 et de celui du n° 1 de la présente note.

COROLLAIRE. — *Si l'arc admet un axe de symétrie, la ligne d'action commune des réactions aux encastrements coïncide avec l'axe de l'ellipse centrale perpendiculaire à cet axe de symétrie.*

Note II

EXTENSION AUX SYSTÈMES RÉTICULAIRES (*) DES THÉORÈMES ET DES TRACÉS RELATIFS AUX PIÈCES PLEINES

Tous les résultats énoncés dans cette seconde partie, pour les pièces pleines, s'étendent aux systèmes réticulaires plans, astreints aux mêmes sujétions. L'analyse à suivre est, dans son ensemble, identique à celle que nous avons exposée ; elle doit toutefois être précédée d'une transformation des formules du chapitre III (1re partie) au moyen du théorème de Ritter, relatif aux tensions dans les barres des systèmes articulés.

Ne pouvant entrer dans le détail des démonstrations, sans dépasser les limites qui nous sont imposées pour ce Mémoire, nous nous bornerons à indiquer brièvement comment cette extension doit être entendue.

Dans l'étude des pièces pleines, c'est aux divers points de la ligne moyenne que nous avons appliqué, tantôt des forces données, tantôt des forces fictives. C'est aussi à ces points que nous avons rapporté les moments fléchissants M produits par les forces extérieures et les quantités MX, MY et T, relatives aux forces fictives.

Dans les systèmes réticulaires, la ligne moyenne n'existe plus, et on doit la remplacer par une série de points isolés qui sont les *nœuds* de la construction. C'est à ces nœuds que nous appliquerons, tantôt des forces données, tantôt des forces fictives, et c'est à eux que nous rapporterons les moments fléchissants M et les quantités MX, MY et T.

Tandis que, dans les pièces pleines, les forces fictives étaient infiniment petites et en nombre fini, dans les systèmes réticulaires, elles sont finies à la fois en intensité et en nombre.

Dans les pièces pleines, le rapport infiniment petit $\frac{ds}{I}$ (ou $\frac{dx}{I}$ pour les poutres droites) qui entre toujours dans l'expression des forces fictives, est une constante spécifique de chaque point, ou mieux, de chaque élément ds (ou dx) de la ligne moyenne. Dans les systèmes réticulaires, la constante spécifique de chaque nœud, que nous représenterons par $\frac{1}{F}$, a pour valeur

$$\frac{1}{F} = \frac{s}{Sh^2},$$

où h est la distance du nœud à la barre opposée, s la longueur et S la section de cette barre.

On remarquera qu'au point de vue de l'homogénéité, F est du troisieme degré par rapport aux longueurs.

Cela posé, la règle pour passer des propriétés des pièces pleines à celles des systèmes réticulaires est la suivante :

(*) Un *système réticulaire* est un réseau de barres rectilignes articulées entre elles et formant une série de triangles juxtaposés. Cette dénomination est empruntée à M. Maurice Lévy.

Tous les résultats (théorèmes et constructions géométriques) indiqués pour les pièces pleines, s'étendent aux systèmes réticulaires astreints aux mêmes sujétions, par la substitution :

1° De la série de points isolés formée par les nœuds, à la série de points infiniment voisins, qui constitue la ligne moyenne;

2° Des constantes spécifiques $\frac{1}{\Gamma} = \frac{s}{Sh^2}$ *à celles* $\frac{ds}{I}$ *et* $\frac{dx}{I}$*;*

3° De sommes à un nombre fini de termes, aux sommes intégrales.

Voici les applications principales de cette règle :

I. — Construction des déformations élastiques.

Considérons, pour fixer les idées, un système réticulaire astreint à des liaisons quelconques mais telles que, par la suppression des liaisons surabondantes, on peut le ramener à n'être plus assujetti qu'au premier système de liaisons indépendantes de l'élasticité (nœud F fixe et nœud E assujetti à demeurer sur une droite WW′ donnée).

Proposons-nous, par exemple, de déterminer graphiquement le déplacement $(l_y)_c$ d'un nœud quelconque C, estimé suivant une direction oy perpendiculaire à WW′, les moments fléchissants M développés en chaque nœud par les forces extérieures et par les réactions, étant supposés connus.

Le problème similaire a été résolu pour une pièce pleine, au paragraphe 34.

En s'y reportant, on voit, par application de la règle qui précède, qu'il faut considérer aux différents nœuds, des forces fictives égales à $\frac{Ms}{ESh^2}$, ou $\frac{M}{E\Gamma}$, et parallèles à oy; puis tracer, avec une distance polaire B arbitraire, le polygone funiculaire correspondant ; enfin, tirer une ligne de fermeture E_yF_y passant par les points d'intersection de ce polygone avec les parallèles à oy menées par les nœuds E et F.

Si on désigne alors par c_yC_y les segments interceptés, par le polygone et la ligne de fermeture, sur la parallèle à oy menée par le nœud C, le déplacement cherché a pour expression

(1) $$(l_y)_c = B \times c_yC_y,$$

B étant lu sur l'épure à l'échelle des efforts fictifs, et c_yC_y, à l'échelle des longueurs.

Les autres constructions indiquées aux paragraphes 34 et 35, s'étendent de la même manière aux systèmes réticulaires.

Nota. — La remarque du § 36 s'applique aux systèmes réticulaires composés de barres d'élasticité constante : au lieu d'opérer, comme précédemment, sur des efforts fictifs égaux à $\frac{M}{E\Gamma}$, il sera commode d'opérer sur des efforts proportionnels à ceux-ci et ayant pour valeur générale

$$\frac{M}{E\Gamma} \times \frac{E\Gamma_m}{n} = M\,\frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma},$$

où n et Γ_m sont des constantes ; n est un nombre quelconque ; Γ_m est l'inverse de la constante spécifique d'un nœud arbitrairement choisi, la plus grande ou la plus petite, par exemple.

On montrerait, comme au § 36, que l'expression (1) du déplacement $(l_y)_c$ doit alors être remplacée par la suivante :

$$(l_y)_c = \frac{n}{E\Gamma_m} B \times c_y C_y.$$

II. — Arc réticulaire encastré à ses deux extrémités.

On dit qu'une extrémité d'un arc réticulaire est encastrée, lorsque le nœud extrême A d'extrados ou d'intrados, est astreint à rester fixe, tandis que le nœud extrême A′ d'intrados ou d'extrados, est assujetti à demeurer sur la droite AA′ fixe dans l'espace. Il en résulte que la barre extrême AA′ a une situation angulaire invariable et qu'une de ses extrémités est fixe, mais que sa longueur peut varier avec les intensités des forces agissant sur l'arc.

Nous désignerons respectivement par les lettres A et B, les nœuds fixes des extrémités encastrées de gauche et de droite de l'arc.

La droite AB sera la *corde* de l'arc.

1° Forces extérieures fixes

Des forces extérieures quelconques sont appliquées aux nœuds d'un arc réticulaire encastré. On peut se proposer de déterminer le moment fléchissant M en un nœud quelconque C, ainsi que les composantes rectangulaires X et Y de la résultante de translation des forces élastiques développées dans la *section transversale* passant par ce nœud et rencontrant la barre opposée.

Le problème analogue a été traité pour l'arc plein, au chapitre II (§§ 37 et 38).

En s'y référant, on voit que, dans le cas de l'arc réticulaire, le centre fixe o' est le centre de forces fictives parallèles $\frac{b}{\Gamma}$, appliquées aux différents nœuds.

Les centres o'' et o''' correspondants au nœud C, sont les centres de forces fictives parallèles $\frac{y}{\Gamma}$ et $\frac{x}{\Gamma}$, agissant en chaque nœud, — x et y désignant les coordonnées des nœuds, par rapport à deux axes rectangulaires Cx et Cy passant par C et parallèles aux directions suivant lesquelles on veut évaluer les composantes X et Y.

Le centre variable ω est le centre de forces fictives parallèles $\frac{M'}{\Gamma}$, appliquées à chaque nœud, — M représentant les moments fléchissants que développeraient, aux nœuds, les forces extérieures données, si l'arc était scindé en deux tronçons par une section transversale rencontrant le nœud C et la barre opposée à ce nœud.

Les intégrales φ', φ'', φ''', S deviennent des sommes ayant pour expressions

$$\varphi' = \sum_A^B \frac{b}{\Gamma}, \quad \varphi'' = \sum_A^B \frac{y}{\Gamma}, \quad \varphi''' = \sum_A^B \frac{x}{\Gamma}, \quad S = \sum_A^B \frac{M'}{\Gamma},$$

A et B étant les nœuds extrêmes de l'arc.

Enfin, les inconnues $\frac{M}{b}$, X et Y sont encore exprimées par les formules finales (1) du § 37.

Remarque. — Pour la détermination des centres o', o'', o''', ω et des sommes $\varphi', \varphi'', \varphi'''$, S, il sera avantageux de remplacer, — par analogie avec ce qui a été fait au § 38, — les forces fictives $\frac{b}{\Gamma}, \frac{y}{\Gamma}, \frac{x}{\Gamma}$ et $\frac{M'}{\Gamma}$, par $b\frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma}$, $y\frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma}$, $x\frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma}$ et $M'\frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma}$, n et Γ_m étant les constantes définies plus haut. *(Construction des déformations élastiques. — Nota.)*

Φ', Φ'', Φ''' et Σ représentant les longueurs des polygones de ces forces fictives, les inconnues seront alors données par les formules (1 *bis*) du § 38.

2° Charges mobiles. — Lignes d'influence.

Dans le cas des pièces pleines, nous avons défini les lignes d'influence, en considérant une charge mobile P dont le point d'application décrivait la ligne moyenne. Dans le cas des systèmes réticulaires, les forces extérieures n'agissant, par hypothèse, que sur les nœuds, nous supposerons que le point d'application de la charge mobile P se transporte brusquement d'un nœud à l'autre, en passant alternativement de l'extrados à l'intrados et de l'intrados à l'extrados, c'est-à-dire en suivant le contour brisé des barres dites de remplissage. On voit, dès lors, que les lignes d'influence qui, dans les pièces pleines, étaient des courbes continues, se réduisent, en réalité, dans les systèmes réticulaires, à une série de points isolés correspondants aux nœuds. Quoi qu'il en soit, nous appellerons ligne d'influence dans les systèmes réticulaires, le polygone formé en joignant ces points deux à deux, dans l'ordre qui correspond au cheminement sus-indiqué du point d'application de la charge P (*).

(*) En fait, la charge mobile ne peut passer alternativement de l'extrados à l'intrados, ainsi que nous le supposons pour faciliter la théorie: elle agit constamment, soit sur l'extrados, lorsque le tablier est au-dessus de l'arc, soit sur l'intrados, lorsqu'il est suspendu à l'arc; elle peut également, et c'est le cas où le tablier est à mi-hauteur de l'arc, agir sur l'extrados, dans le voisinage des retombées, et sur l'intrados, dans la région du sommet. Il faut remarquer enfin qu'elle peut, dans son cheminement réel, n'avoir d'action que sur une partie seulement des nœuds de l'extrados ou de l'intrados.

Quoi qu'il en soit, ayant construit, par la méthode que nous allons indiquer, la ligne d'influence répondant au cheminement théorique de la charge mobile, on pourra toujours ne conserver ensuite que les sommets de cette ligne, qui correspondent à ceux des nœuds où la charge peut effectivement être appliquée.

Cela posé, le théorème fondamental II du § 43 se transforme en le suivant :

Étant donnés un arc réticulaire encastré à ses deux extrémités, un nœud quelconque C, *et une charge mobile* P *parcourant cet arc en passant alternativement d'un nœud d'extrados à un nœud d'intrados et inversement, si on applique successivement des forces fictives verticales* 1° $\frac{y-z'}{\Gamma}$, 2° $\frac{y-z''}{\Gamma}$, 3° $\frac{y-z'''}{\Gamma}$, *aux divers nœuds de l'arc* ($y - z'$, $y - z''$, $y - z'''$ *étant respectivement les longueurs des segments de verticales compris entre ces nœuds et les côtés* $o''o'''$, $o'o'''$, $o'o''$ *du triangle formé par le centre fixe* o' *de l'arc et par les centres* o'' *et* o''' *correspondants au nœud* C), *qu'avec des distances polaires arbitraires, on construise les trois polygones funiculaires correspondants à ces trois espèces de forces, en suivant l'ordre du cheminement de la charge mobile, qu'enfin on prolonge les côtés extrêmes de ces polygones jusqu'à la verticale du nœud* C :

Les segments de verticales, compris entre chacun de ces polygones et leurs côtés extrêmes prolongés, sont respectivement proportionnels aux ordonnées des lignes d'influence du moment fléchissant au nœud C, *et des composantes horizontale et verticale de la résultante de translation des forces élastiques, développées dans la section transversale passant par le nœud* C *et rencontrant la barre opposée.*

Les théorèmes I, II et III du § 44 s'appliquent aux polygones funiculaires ci-dessus, les côtés extrêmes de ces polygones remplaçant, bien entendu, les tangentes considérées dans ces théorèmes.

La construction des lignes d'influence s'effectuera conformément aux indications du § 45 :

On attribuera aux forces fictives les valeurs

$$(y-z')\frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma},\quad (y-z'')\frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma},\quad (y-z''')\frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma},$$

n et Γ_m étant les constantes définies précédemment (*Construction des déformations élastiques. — Nota*) ; et on prendra des distances polaires égales à

$$\overline{B}' = \frac{\overline{o'q'} \times \overline{\Phi'}}{\overline{P}},\quad \overline{B}'' = \frac{\overline{o''q''} \times \overline{\Phi''}}{\overline{P}},\quad \overline{B}''' = \frac{\overline{o'''q'''} \times \overline{\Phi'''}}{\overline{P}},$$

afin d'obtenir à l'échelle des forces, les ordonnées des lignes d'influence cherchées.

Dans ces formules Φ', Φ'', Φ''' représentent les quantités définies plus haut. (*Forces extérieures fixes. — Remarque.*)

Nous croyons inutile d'entrer dans plus de détails et d'indiquer ce que deviennent les théorèmes et les constructions des § 46 et 47, l'application de la règle de transformation ne présentant aucune difficulté.

Nous n'insisterons pas davantage sur les théorèmes et les indications des n°s 1, 3, 5 et 6 de la Note I ; nous ferons seulement remarquer que

l'ellipse centrale d'inertie correspond alors aux nœuds de l'arc, considérés comme formant un système de points matériels dont le poids, variable d'un nœud à l'autre, a pour expression générale $\frac{s}{Sh^2}$ ou $\frac{1}{\Gamma}$. (*)

3° Effets des variations de température.

Tout ce qui a été dit au § 49 ainsi qu'au n° 7 de la Note I, s'applique à l'arc réticulaire ; la corde $AB = a$ est alors la droite de jonction des nœuds fixes A et B des extrémités encastrées.

III. Poutre continue réticulaire.

Nous ne faisons aucune hypothèse sur la hauteur de la poutre, qui peut être constante ou variable, mais nous supposons expressément que les nœuds d'appui sont de niveau.

Charges mobiles. — Lignes d'influence.

L'extension à la poutre continue réticulaire, des définitions des points trisecteurs, des résultantes trisectrices, des foyers et des composantes aux foyers (§ 50), s'effectue aisément au moyen de la règle de transformation donnée plus haut. Nous ne nous y arrêterons donc pas, renvoyant, d'ailleurs, pour des indications détaillées sur les foyers, à la *Statique graphique* de M. Maurice Lévy (IVe Partie. — Chapitre IX).

Le centre fixe O_k d'une travée l_k et le centre O'_k correspondant à un nœud C satisfont aux théorèmes I et II du § 52, qui en font connaître la position.

(*) Par des considérations analogues à celles du § 48 et du n° 2 de la Note I, on déduit la proposition suivante, du théorème fondamental qui précède :

ζ désignant les segments de verticales compris entre les nœuds de l'arc et l'antipolaire du sommet S opposé à une barre quelconque MN, par rapport à l'ellipse centrale d'inertie définie plus haut, — appliquons à ces nœuds des forces fictives verticales $\frac{\zeta}{\Gamma}$, traçons avec une distance polaire quelconque, le polygone funiculaire correspondant, enfin prolongeons les côtés extrêmes de ce polygone soit jusqu'à la verticale du sommet S, ou bien seulement jusqu'aux verticales des nœuds M et N, suivant que MN est une barre de contour extérieur ou bien une barre de remplissage :

Les segments de verticales, compris entre ce polygone funiculaire et ses côtés extrêmes prolongés, sont proportionnels aux ordonnées de la ligne d'influence de la tension élastique totale dans la barre MN.

Dans l'épure, on attribuera aux forces fictives la valeur générale $\frac{\zeta\Gamma_m}{n\Gamma}$; et, pour que la construction fournisse *à l'échelle des forces* les ordonnées de la ligne d'influence, on prendra une distance polaire égale à $\frac{\overline{o'Q} \times \overline{\Phi'}}{\overline{\Gamma}} \times \frac{\overline{h}}{\overline{b}}$, — h désignant la distance du sommet S à la barre MN, $o'Q$ le segment de verticale compris entre le centre fixe o' de l'arc et l'antipolaire de S, et b la longueur déjà employée pour la détermination de Φ'.

On démontre facilement que *les prolongements des côtés extrêmes du polygone funiculaire ci-dessus se coupent toujours sur la verticale du sommet S.*

(Pour la définition du *sommet* opposé à une barre d'un système réticulaire, voir la *Statique graphique* de M. Maurice Lévy. — § 203.)

Ces points déterminés, nous pouvons, comme dans le cas de la poutre pleine, construire les deux diagrammes polygonaux des z_1 et des z_2 (§ 54).

Le théorème fondamental II du § 54 prend, dès lors, la forme suivante.

Étant donnés une poutre continue réticulaire, un nœud C *arbitrairement choisi dans une travée quelconque* $A_{k-1}A_k$, *et une charge mobile* P *parcourant cette poutre en passant alternativement d'un nœud inférieur à un nœud supérieur et inversement, si on applique successivement des efforts fictifs* 1° $\frac{z_1}{\Gamma}$, 2° $\frac{z_2}{\Gamma}$, *aux divers nœuds de la poutre* (z_1 *et* z_2 *étant les ordonnées des diagrammes polygonaux sus-mentionnés, correspondantes à ces nœuds), qu'avec des distances polaires arbitraires on construise les deux polygones funiculaires respectivement relatifs à ces efforts, qu'on leur mène des lignes de fermeture correspondantes à chacune des travées autres que celle* $A_{k-1}A_k$, *et qu'enfin on prolonge jusqu'à la verticale du nœud* C *les lignes de fermeture afférentes aux travées contiguës à celle* $A_{k-1}A_k$:

Les segments de verticales compris entre chacun de ces polygones funiculaires et les lignes de fermeture y relatives, sont respectivement proportionnels aux ordonnées des lignes d'influence du moment fléchissant au nœud C *et de l'effort tranchant développé dans la section transversale passant par ce nœud et rencontrant la barre opposée.*

Les propriétés énoncées au § 55 s'appliquent aux polygones funiculaires ci-dessus.

La construction des lignes d'influence s'effectuera conformément aux indications du § 56 :

On attribuera aux efforts fictifs les valeurs

$$z_1 \frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma}, \quad \text{et} \quad z_2 \frac{\frac{1}{n}\Gamma_m}{\Gamma},$$

n et Γ_m étant les constantes définies précédemment (*Construction des déformations élastiques. — Nota*) ; et on prendra pour distances polaires les longueurs données par les formules *(a)* et *(b)* du § 56, afin d'obtenir à l'échelle des forces les ordonnées des lignes d'influence cherchées.

On étendrait de la même manière, aux poutres réticulaires, les propositions et les constructions géométriques des §§ 57, 58, 60, 61, 62, relatives à la poutre continue pleine, et celles du § 63 relatives à la poutre pleine à une seule travée, encastrée à ses deux extrémités.

TABLE DES MATIÈRES DE LA SECONDE PARTIE

CHAPITRE I[er]

CHAPITRE II

Arc encastré à ses deux extrémités (*).

Première section.

Deuxième section.

(*) En ce qui concerne l'*arc articulé aux deux extrémités*, l'application des formules symboliques et des théorèmes de réciprocité permet de retrouver des résultats connus par ailleurs. Elle donne notamment une nouvelle démonstration du beau théorème de M. Maurice Lévy sur la *ligne de poussée*.
Ce n'est pas ici le lieu de traiter ce sujet.

CHRONIQUE

N° 111.

SOMMAIRE. — Frottement des tiroirs de locomotives. — Force motrice obtenue des puits artésiens. — L'âge d'aluminium. — John Ericsson. — Anciens arbres creux.

Frottement des tiroirs de locomotives. — Dans la Chronique d'avril 1887, page 638, nous avons donné le résumé d'un mémoire du professeur Robinson sur la résistance au mouvement des tiroirs, ainsi que des détails sur diverses expériences faites sur ce sujet, notamment avec l'appareil dynamométrique de Giddings.

M. F. Aspinall a dernièrement présenté à *l'Institution of Civil Engineers* un mémoire très remarquable sur la même question.

L'auteur s'est proposé également de rechercher directement l'effort exercé par la tige du tiroir pour vaincre le frottement de celui-ci sur sa table, au moyen d'un diagramme indiquant cet effort à chaque point de la course.

L'appareil employé se compose d'un cylindre alésé de 0,152 *m* de diamètre fixé à la tige du tiroir et contenant un piston garni de cuirs emboutis, fixé à la tige commandée par la coulisse de distribution ; un indicateur ordinaire de machine à vapeur est monté sur la partie du cylindre qui regarde le tiroir. L'autre partie est fermée par un couvercle que traverse la tige et communique avec l'extérieur par un petit orifice muni d'une soupape. Le tambour de l'indicateur étant rattaché par une cordelette à une pièce fixe de la machine, le crayon traceur dans le mouvement du tiroir marquera à chaque point de la course la pression exercée sur le liquide qui remplit le cylindre, pression qui est proportionnelle à l'effort nécessaire pour déplacer le tiroir. On a essayé plusieurs liquides, le plus convenable paraît être de la glycérine épaisse ; le cylindre doit être bien purgé d'air, dont l'élasticité troublerait la forme des diagrammes. Un autre indicateur est monté sur la boite du tiroir et donne à chaque point de la course de celui-ci la pression qui s'exerce sur lui.

Le but de la petite soupape dont il a été question est de faire en sorte que la pression sur l'autre face du piston ne soit jamais supérieure à la pression atmosphérique ; on peut ainsi compter que la pression qui règne sur l'autre face est bien réellement celle qu'accuse le diagramme; autrement, il aurait fallu placer un indicateur sur les deux côtés et prendre la différence des pressions.

Le diamètre du piston de l'indicateur étant de 19 *mm* et celui du piston de l'appareil de 0,152 *m*, le rapport des carrés est de 1 à 64, de sorte qu'un déplacement de 1 dixième de millimètre du piston de l'appareil,

déplacement sans influence aucune sur la distribution, déterminera un déplacement de 6,4 *mm* sur le piston de l'indicateur.

Il a fallu d'abord tarer l'instrument, c'est-à-dire déterminer ses résistances propres, soit le frottement du piston hydraulique et des tiges.

Pour cela, on fixait le cylindre hydraulique et on cherchait le poids nécessaire pour mouvoir le piston au moyen d'un levier coudé relié à la tige et dont on chargeait plus ou moins la branche horizontale. On connaissait ainsi l'effort exercé sur le piston ; d'autre part, l'indicateur donnait l'effort qui lui était transmis, la différence était la somme des frottements. Les résultats obtenus peuvent se traduire sous la forme :

$$P_1 = a + b\,P.$$

P_1 étant la pression réelle totale et P la pression obtenue sur le diagramme d'indicateur, a et b sont des constantes dont la valeur pour l'évaluation de P_1 et P en kilogrammes serait :

$$a = 1{,}98 \quad b = 0{,}445.$$

On a relevé les diagrammes sur deux types de locomotives avec des tiroirs de trois espèces, en bon et en mauvais état. Les efforts ont été relevés d'après les ordonnées des diagrammes, comme on procède pour tous les diagrammes d'indicateur.

Il nous parait suffisant de donner un exemple de ces relevés. La pression moyenne donnée par le diagramme n° 17 est de 1,93 *kg* par centimètre carré. La correction indiquée précédemment donne pour la valeur réelle $1{,}98 + (0{,}445 \times 1{,}93) = 2{,}83$ *kg* par centimètre carré, La surface d'arrière du piston hydraulique étant, tige déduite, de 169 cm^2, l'effort total est de $169 \times 2{,}83 = 478$ *kg*, à quoi il faut ajouter 116 *kg* pour la pression de la vapeur sur la tige du tiroir, total 594 *kg* pour l'effort moyen de déplacement d'un tiroir.

Une partie des diagrammes a été relevée sur une machine à marchandises à cylindres de 0,458 *m* de diamètre et 0,610 de course à six roues accouplées de 1,525, et une partie sur une machine express à cylindres de 0,432 *m* de diamètre, 0,560 de course et quatre roues couplées de 1,982 de diamètre. Un tableau donne les particularités des diagrammes relevés et diverses indications sur les conditions des essais, telles que mode de graissage des tiroirs, état de ceux-ci et des tables de cylindres, etc.

Il est à remarquer tout d'abord que l'effort pour déplacer les tiroirs est loin d'être uniforme pendant la durée de la course de ceux-ci. Les causes qui font varier cet effort sont :

1° La variation de pression sur le dos du tiroir due à la variation de la pression de la vapeur dans la boite à tiroir ; dans certains cas, cette pression varie de 0,71 à 0,85 *kg* par centimètre carré ;

2° La variation de pression sur le dessous du tiroir dans les parties correspondantes aux lumières ;

3° La variation de pression à l'intérieur du tiroir ; si on admet que cette pression est sensiblement la même que celle qui existe dans le cylindre lorsque ces parties sont en communication, on peut apprécier les pressions par le diagramme d'indicateur du cylindre, comme d'ailleurs pour le n° 2 ;

4° La disposition du tiroir

3° L'inertie des masses en mouvement entre le piston hydraulique et le tiroir.

La variation de pression dans la boite à tiroir a un effet notable sur la résistance; elle est causée par l'ouverture des lumières et la rapidité du mouvement du piston, notamment avec des diamètres relativement faibles du tuyau d'arrivée de la vapeur.

La sous-pression sous les bandes du tiroir dans la partie correspondante aux lumières s'explique d'elle-même; son effet est très accusé sur les diagrammes; ses variations correspondent aux pressions indiquées par le diagramme du cylindre, notamment dans la détente et la compression.

La pression à l'intérieur du tiroir est sensiblement égale à celle de la période d'échappement dans le cylindre; son effet est important. Ainsi, avec un tiroir de 0,345 × 0,175 à l'intérieur, une surface de 603 cm^2 est, au moment de l'ouverture à l'échappement, brusquement soumise à une pression qui, dans certains cas de marche à forte introduction, peut aller à 6 *kg* par centimètre carré, soit un effort total de soulèvement de 3 618 *kg*; mais cet effort n'est pour ainsi dire qu'instantané, la pression baissant immédiatement dès que la lumière continue à s'ouvrir.

La dernière cause de la variation de résistance est l'inertie des parties mobiles de l'appareil, cylindre hydraulique, etc.

L'auteur trouve qu'à la vitesse de 20 milles à l'heure (32 *km*), la résistance due à l'inertie correspond à 0,142 *kg* par centimètre carré sur le piston hydraulique, ce qui doit être ajouté au chiffre trouvé pour les frottements. A des vitesses plus grandes, cette résistance croîtrait beaucoup. Ainsi à la vitesse correspondant à 168 et 224 tours de roues par minute, elle atteindrait respectivement 0,546 et 0,972 *kg* par centimètre carré.

Pour déterminer le coefficient de frottement du tiroir, il est probablement plus sûr de prendre l'effort à mi-course, au moment où l'effet de l'inertie disparait plutôt que l'effort moyen. Le tableau ci-dessous donne quelques observations faites à ce sujet, tant par M. Aspinall que par d'autres expérimentateurs.

EXPÉRIMENTATEURS	RÉSISTANCE AU DÉPART	RÉSISTANCE EN MOUVEMENT	DIMENSIONS DU TIROIR	PRESSION dans LA BOITE A VAPEUR	OBSERVATIONS
	kg.	kg.		kg.	
Adams	—	4 417	473 × 252	11,46	
Beattie	2 792	2 093	432 × 268	8,90	
Halpin.	1 191	—	425 × 252	5,70	
Aspinall	—	598	420 × 250	9,50	Tiroir Allen (1), fond de course.
—	—	496	420 × 250	9,90	Tiroir ordinaire bronze, fond de course.
—	—	445	420 × 250	9	Tiroir ordinaire fonte, fond de course.

(1) Le tiroir Allen est le tiroir à canal, généralement connu sur le continent sous le nom de tiroir Trick.

Le chiffre de la quatrième ligne est la moyenne de 8 diagrammes. Si on prend la surface totale extérieure du tiroir et qu'on la multiplie par la pression de 9 1/2 *kg* par centimètre carré, qui existe à ce moment dans la boite à vapeur, le produit est de $0{,}420 \times 0{,}250 \times 9{,}5 = 9\,975$ *kg*.

La sous-pression sous les bandes de tiroir est égale à l'aire d'une lumière multipliée par la pression indiquée au diagramme, c'est 815 *kg*; la sous pression due à la vapeur dans la lumière est de 443; celle qui se produit dans l'intérieur du tiroir est nulle à cette position. La résultante de ces diverses pressions de sens contraire est de 8 717 *kg* et le coefficient de frottement est égal à l'effort divisé par la pression, soit $\frac{598}{8717} = 0{,}068$.

Il s'agit ici de tiroirs en bronze. Un calcul analogue opéré sur d'autres diagrammes relevés sur la même machine, mais avec des tiroirs en fonte, a donné un coefficient de frottement de 0,054 et même 0,051. La faiblesse de ces coefficients est à remarquer. On admet généralement 0,08 à 0,09 pour les surfaces bien graissées, et ce qui est surtout étonnant, c'est que les surfaces étaient dans ces expériences à une température de 170 degrés centigrades au moins. On peut estimer à 27 *kg* par centimètre carré la pression des parties en contact des tiroirs et de leur tables.

Dans ces conditions, le travail nécessaire pour la mise en mouvement des tiroirs, tant en valeur absolue que relative, serait le suivant :

COURSE DU TIROIR	NOMBRE DE TOURS	TRAVAIL INDIQUÉ TOTAL	TRAVAIL POUR MOUVOIR les tiroirs	PROPORTION POUR CENT
mm		chevaux		
85	56	343	4,6	1,34
58	56	212	4,8	2,26

Le graissage des tiroirs exerce une influence importante ; ainsi, on a fait une comparaison dans les circonstances suivantes : 80 *km* sans aucun graissage, puis un parcours avec un graisseur à débit visible, donnant sept gouttes à la minute, et enfin un parcours avec le même graisseur débitant soixante gouttes par minute.

La résistance des tiroirs marchant à fond de course, rapportée à une pression uniforme de 8 1/2 *kg* à la boite à tiroirs a été respectivement de 846, de 800, et enfin de 616 *kg*. Avec une course réduite des tiroirs, ces efforts ont été trouvés de 1 102, 867 et 668 *kg*.

Avec la machine à marchandises, dont les dimensions ont été données plus haut, la course maxima des tiroirs étant de 86 *mm*, on a constaté une résistance moyenne de 722 *kg*.

Le travail moyen correspondant est donc, par tour de roues, de $722 \times 0{,}086 \times 4$ pour les deux tiroirs, soit 241,4 *kgm*.

Le travail absorbé par le frottement des excentriques, avec une cir-

conférence de 1,10 *m*, un effort de 722 *kg* et un coefficient de frottement de 0,08, est de :

$1,10 \times 722 \times 0,08 \times 2 = 127$ *kgm*. La somme est de 364,4 *kgm* par tour de roues, ce qui correspond, avec des roues de 1,52 *m* de diamètre, à 4,79 *m* par seconde et par tour, soit 17 244 *m* à l'heure ; le travail est donc de 4,8 chevaux. Avec la course réduite pour les tiroirs, on trouverait environ 5 chevaux.

L'auteur estime que le travail absorbé par les tiroirs et leur transmission équivaut à celui que nécessiterait, dans ce cas, la traction de deux et demi wagons de 10 *t*.

La communication de M. Aspinall a été suivie d'une discussion dans laquelle on a, tout en rendant pleine justice à la valeur réelle du mémoire, signalé la nature très délicate d'observations de ce genre où il est difficile d'éviter l'intervention de détails, secondaires en apparence, mais dont l'influence peut être très grande sur les résultats, par exemple le plus ou moins de serrage des presse-étoupes de tiges de tiroir qui peut faire varier, dans des limites très étendues, le coefficient de frottement apparent.

On paraît avoir été unanime à recommander l'emploi de la fonte, de préférence au bronze, pour les tiroirs. M. Stroudley a eu des tiroirs en bronze qui usaient une forte épaisseur de métal en un mois ou six semaines ; le bronze phosphoreux prolonge considérablement la durée des tiroirs ; il est d'accord avec l'auteur pour admettre que le travail absorbé par le frottement est bien moindre qu'on ne le suppose généralement ; c'est ce qui rend la question des tiroirs équilibrés pour locomotives d'un intérêt assez secondaire.

Nous croyons, pour terminer, devoir rappeler la théorie présentée par M. Robinson, dans le travail indiqué au commencement de cet article, théorie d'après laquelle la vapeur s'introduit entre les faces en contact d'un tiroir et de sa table, non assez pour passer d'un côté à l'autre, mais suffisamment pour exercer une sous-pression qui compense partiellement la pression exercée par le tiroir sur sa table. Si l'effort pour le déplacement du tiroir est peu élevé, ce n'est pas parce que le coefficient de frottement est très faible, mais parce que le tiroir est moins chargé qu'on ne le suppose. Cette hypothèse, appuyée d'ailleurs sur des expériences que nous avons indiquées, nous paraît extrêmement rationnelle et dispense de l'intervention de coefficients de frottement réduits au delà de toute vraisemblance. Il est singulier qu'à l'*Institution of Civil Engineers*, personne n'ait fait allusion à l'explication si intéressante du professeur américain.

Force motrice obtenue des puits artésiens. — Les puits artésiens du Dakota, aux États-Unis, sont certainement les plus puissants qui existent, au double point de vue de la pression et du débit. Il y a actuellement une centaine de ces puits de 150 à 500 *m* de profondeur, distribués sur 29 comtés depuis Yankton à l'extrémité méridionale, jusqu'à Pembian à l'extrémité nord. Ils donnent un volume d'eau très constant et qui n'est nullement influencé par le forage de nouveaux puits; la pression s'y élève à 110 et jusqu'à 130 *m* d'eau, soit 11 à 13 *kg* par cen-

timètre carré. Cette eau est utilisée dans les villes les plus importantes pour distribution d'eau, service d'incendie et surtout comme force motrice.

A Yankton, une turbine de 40 chevaux fait mouvoir un moulin pendant la journée et, le soir, produit l'éclairage électrique par l'eau d'un puits artésien. L'installation a coûté moins cher qu'avec une machine à vapeur, et il n'y a aucune dépense de service, ni combustible, ni mécanicien; à peine un entretien insignifiant. Les journaux américains qui rapportent ces faits font remarquer combien la nature a été prodigue pour leur pays; le gaz naturel lui fournit gratuitement un combustible inépuisable et dans d'autres endroits les mystérieux réservoirs de la terre mettent à sa disposition, sans frais, une distribution de force motrice naturelle et presque sans limites.

L'âge d'aluminium. — Les journaux américains considèrent que, si on est actuellement dans l'âge de fer ou bientôt d'acier, on peut dès à présent prévoir l'avènement de l'âge d'aluminium.

De nouveaux progrès dans la fabrication économique de ce métal dont le minerai est inépuisable l'amèneront un jour à remplacer le fer dans la presque totalité de ses emplois. L'aluminium ne pèse que le tiers du poids du fer; sa résistance est égale, sinon supérieure. Il se travaille avec la plus grande facilité, se coule sous toutes les formes et à une température peu élevée, il est inoxydable; il n'est pas besoin de le protéger contre les agents atmosphériques.

On peut prévoir dès à présent les révolutions que l'emploi de l'aluminium amènera dans une foule d'industries. Ainsi la navigation à vapeur recevra une impulsion nouvelle, par le fait que des coques aussi résistantes et des machines aussi puissantes qu'actuellement ne pèseront que le tiers du poids des appareils de nos jours; mais c'est surtout pour les ponts que la substitution de l'aluminium au fer et à l'acier permettra de réaliser des merveilles et d'atteindre des portées dont nous n'avons pas idée. L'âge d'aluminium sera certainement l'âge d'or des ponts.

John Ericsson. — Le célèbre ingénieur John Ericsson est mort à New-York, le 8 mars dernier, à l'âge de 86 ans. Il avait touché à presque tous les importants problèmes de la mécanique, et, s'il s'était distingué dans tous, son nom avait acquis une grande célébrité dans la solution de quelques-uns; il suffit de citer les locomotives, les bateaux à hélice, les machines à air chaud, les navires à tourelles, l'utilisation de la chaleur solaire.

Ericsson était né le 1er août 1803, à Wernland, en Suède. Son père était un simple ouvrier mineur qui avait épousé une fille d'une bonne famille complètement ruinée. Sa mère, qui avait reçu une éducation supérieure, ambitionnait pour ses deux fils une autre situation. Dès l'âge de 11 ans, John, le second, entrait comme cadet dans le génie; à l'âge de 13 ans, il était employé au nivellement pour les études d'un canal projeté entre la mer du Nord et la Baltique. A 17 ans, on lui confiait des levés topographiques importants.

Le frère aîné Nils eut des débuts analogues; il s'occupa de canaux, et,

resté en Suède, y acquit une situation très importante par les travaux qu'il exécuta pour ce genre de voies de communication, puis pour les chemins de fer dont il fut pour ainsi dire le créateur en Suède. Il fut élevé à la dignité de baronnet et mourut en 1870 dans une très haute situation.

John Ericsson fit sa première invention en 1823: c'était une machine calorique, probablement à combustion intérieure. Il quitta au bout de peu de temps l'armée avec le grade de capitaine et cette qualification fut toujours depuis associée à son nom. Il vint en Angleterre vers 1825 pour tâcher de tirer parti de son invention; il ne paraît pas qu'il y ait réussi. Mais il ne resta pas oisif et en quelques années il inventa une machine à tailler les limes, un appareil de sondage encore en usage aujourd'hui, une balance hydrostatique, un appareil à évaporer l'eau de mer, une pompe, une machine rotative, un souffleur pour chaudières, etc.

En 1828, il construisait une pompe à incendie à vapeur, il appliquait un condenseur à surface avec retour d'eau à la chaudière du bateau à vapeur le *Victory* et, peu après, la vapeur surchauffée à un bateau naviguant sur le canal du Regent.

Mais le fait qui mit en évidence le nom d'Ericsson fut la construction de la *Novelty*, une des locomotives du concours de Rainhill, en 1829. Cette machine renfermait des détails très remarquables et elle eût pu rendre douteuse la victoire de Stephenson, sans une série d'accidents due à une fabrication imparfaite (on dit que la machine avait été construite en six semaines). Malgré son échec, Ericsson construisit encore plusieurs locomotives, parmi lesquelles le *William III*, à cylindres de 0,305 *mm* de diamètre et 0,356 *mm* de course qui traînait 40 *t* à la vitesse de 25 *km* à l'heure, résultat remarquable pour l'époque. On dit que Ericsson avait appliqué à ces machines un changement de marche assez analogue à la coulisse de Stephenson, mais les dessins n'en ont pas été conservés.

L'ingénieur suédois porta ensuite son attention sur la question de l'hélice; sa patente pour ce propulseur est du 13 juillet 1836. Il construisit, en 1837, le *Francis B. Ogden* de 13,5 *m* de longueur sur 2,50 *m* de large, qui réussit; ce bateau remorqua, le 25 mai de cette année, sur la Tamise à une vitesse de 4 1/2 nœuds contre la marée un trois-mâts de 600 tonneaux. *L'Archimède* de Smith, qui amena l'adoption de l'hélice, ne fut construit qu'en 1838.

Ericsson construisit également un bateau à hélice pour la navigation des canaux, puis un bateau plus grand, le *Robert F. Stockton*, de 21 *m* de longueur sur 3,05 *m* de large, actionné par une machine de 50 chevaux.

Ne trouvant aucun encouragement en Angleterre, Ericsson pensa trouver un meilleur accueil aux États-Unis et s'y rendit en 1839 pour s'y établir d'une manière définitive.

Trois navires de guerre à hélice furent peu après munis de propulseurs et de machines exécutés sur les plans d'Ericsson, la *Pomone* en France, l'*Amphion* en Angleterre et le *Princeton* aux États-Unis. Le premier de ces navires était une frégate en bois dans laquelle on installa une machine horizontale à bielle en retour de 220 chevaux, construite par l'atelier Mazeline, au Havre, sur les plans de Holm. Ce fut, avec celle de l'*Amphion*, la première machine à bielle en retour et probablement la première machine actionnant directement l'hélice sans engrenages, au

moins de grande dimension ; en tout cas, les machines de ces trois navires furent les premières placées entièrement au-dessous de la flottaison. On peut mentionner au sujet de l'appareil de la *Pomone* une particularité assez curieuse. Le dessin qui figure dans l'ouvrage *The Steam Engine*, de John Bourne, représente la machine de *la Pomone* avec un arbre creux de 13,50 *m* de longueur sur un diamètre de 0,50 *m* environ en tôle rivée, entre la machine et l'hélice; il paraît que cette forme d'arbre avait été proposée par Ericsson ; elle n'a pas été réalisée, probablement parce qu'on trouva l'idée trop hardie pour l'époque, et l'arbre a été fait en fer. Ce détail est très peu connu.

La frégate américaine *Princeton* reçut une machine dont les pistons étaient des volets à mouvement oscillant alternatif, au lieu de pistons à déplacement rectiligne. Cette machine, dite *pendule*, paraît avoir fait un bon service. Il est intéressant de rappeler que son mode de transmission à l'arbre de l'hélice a été conservé par Ericsson dans la machine du fameux *Monitor*, dont il va être question ; ce dernier genre de machines, connu aux Etats Unis sous le nom de *vibrating lever engine*, a été appliqué sur un très grand nombre de navires de la classe du *Monitor*.

Ce fut en 1852 qu'Ericsson combina sa machine calorique, qui fut montée sur un navire de 2 000 *t*. Il paraît qu'elle fonctionnait bien, mais ne produisait pas assez de puissance pour assurer au navire la vitesse prévue. Ce moteur à air chaud, légèrement modifié, est resté en usage pour les petites puissances, et il en existe aux Etats-Unis des milliers, employés surtout pour actionner des pompes.

Le nom d'Ericsson obtint une nouvelle célébrité, au début de la guerre de sécession ; le cuirassé à tourelles, le *Monitor*, construit en cent jours, sauva, dans la baie de la Chesapeake, la flotte fédérale d'une destruction complète.

Plus tard, Ericsson construisit le *Destroyer*, engin dont il est difficile d'apprécier la valeur réelle, faute d'une expérimentation pratique, et surtout en présence des modifications incessantes apportées au matériel tant de l'attaque que de la défense chez les grandes puissances maritimes.

Ericsson consacra beaucoup de temps et d'argent à l'étude de l'utilisation de la chaleur du soleil comme force motrice : il construisit une machine solaire qui lui servit à recueillir des données intéressantes sur la question.

L'illustre ingénieur resta un travailleur infatigable jusqu'à ses derniers jours. Il vivait très retiré, consacrait à l'étude seize à dix-sept heures par jour, et ne prenait guère d'autre exercice qu'une promenade dans les rues, le soir. On fait remarquer qu'il suivait un régime presque entièrement végétarien.

Ericsson, bien qu'ayant fait des Etats-Unis sa patrie d'adoption, avait conservé la plus vive affection pour son pays natal, qui la lui rendait bien. La maison où sont nés les deux frères a été consacrée comme un monument national, où une inscription rappelle l'honneur que ces ingénieurs ont fait à leur patrie par leurs glorieux travaux. Ericsson a d'ailleurs exprimé formellement le désir d'être ramené en Suède pour y goûter son dernier repos.

Anciens arbres creux. — L'emploi des arbres creux qui tend a se répandre pour les gros diamètres, est loin d'être nouveau. Il y a une centaine d'années, l'arbre des gros marteaux de forges ou *ordons*, dont le poids allait jusqu'à 3 000 *kg*, était ordinairement formé d'une grosse pièce de bois d'environ 0,60 *m* de diamètre cerclée en fer. Des pièces de cette dimension étaient difficiles à trouver et toujours très coûteuses.

L'ingénieur Rinman introduisit en Suède, à la fin du siècle dernier, l'usage de se servir de pièces de moindre diamètre et de les doubler avec des douves de 12 à 15 *cm* d'épaisseur.

Borgnis indique, dans son *Traité des machines employées dans diverses fabrications*, qu'on trouve dans un mémoire sur la meilleure forme à donner aux cames de forges publié dans les *Annales des Arts et Manufactures*, an X, page 122, mémoire dont l'auteur ne se trouve pas nommé, l'indication d'un système d'arbre creux qui parait digne d'être imité.

« Nous avons, dit l'auteur du mémoire, fait exécuter, il y a peu de temps, des arbres creux d'une longueur de 30 pieds sur un diamètre de 3 pieds. Nous avons employé des douves de 5 à 6 pouces d'épaisseur (dans œuvre), et de 5 pouces de largeur assemblées avec des cercles à vis placés à 14 pouces de distance les uns des autres. On ne peut rien concevoir de plus fort que ces arbres, et nous sommes étonné qu'un homme aussi intelligent que M. Rinman ait laissé échapper cette occasion d'employer des arbres creux, car nous avouons franchement que c'est la méthode d'augmenter la grosseur des arbres en les doublant de madriers qui nous a donné la première idée de construire des arbres creux. »

Ce mode de construction, ajoute Borgnis, est maintenant très répandu en Angleterre, et il mérite d'être employé dans les autres pays d'Europe. En effet, des arbres creux sont faciles à construire partout où on peut se procurer des madriers, et ils n'exigent que des dépenses modérées.

Le même ouvrage indique l'emploi également très répandu en Angleterre d'arbres en fonte composés de tuyaux réunis par des brides boulonnées.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

NOVEMBRE 1888.

Notice nécrologique sur Alfred DURAND-CLAYE, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, par M. CHOISY, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Note sur la **Forme et l'équilibre des voûtes** de plan quelconque, par M. MALIBRAN, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Le but de la note est de présenter quelques notions relatives à l'équilibre et à l'appareil des voûtes et de démontrer que certains résultats se déduisent, sans calculs et presque sans figures, de considérations fort simples.

Pour le tracé de l'intrados, par exemple, l'auteur fait observer que ce n'est qu'au-dessus des joints de rupture qu'il y a réellement voûte, si ce terme signifie construction composée de parties se soutenant mutuellement. Au-dessous, il n'y a que deux supports fixes, avec ou sans encorbellement. La poussée est donc d'autant plus faible que les cordes des deux demi-voûtes font à la clef un angle plus prononcé, ce qui rend la forme ogivale préférable.

L'appareil qui est la détermination des surfaces de contact des différentes pièces de la construction comprend les voûtes, les supports, les plates-bandes.

Le principe de cette détermination est à la fois de rapprocher les pressions mutuelles des pièces contiguës de la direction normale à leurs faces de contact, pour éviter le glissement, et de soutenir les membres de la construction contre le déversement par un massif inébranlable ou par des membres d'égale importance tendant à se déverser en sens contraire, s'il y a tendance au déversement.

Les conclusions du mémoire sont les suivantes :

1° Etant donnée la fixité des supports, il n'y a voûte qu'au-dessus des joints de rupture ;

2° La forme ogivale est avantageuse pour la courbe d'intrados ;

3° Au moyen de l'appareil, on est maître de réaliser la poussée dans une section verticale quelconque. Il faut et il suffit pour cela que les lits des voussoirs soient normaux à la douelle et passent par les trajectoires orthogonales de la section ;

4° On peut couvrir d'une voûte un plan quelconque, sans qu'il y ait poussée au vide. Il suffit pour cela d'imaginer un système de sections verticales, comprenant les plans des têtes, et de prendre pour lits des

assises des surfaces normales à la douelle et passant par les trajectoires orthogonales de ces sections;

5° Dans chaque section supposée, on devra donner à la voûte l'épaisseur exigée par la portée résultant de cette section.

Note sur la **Comparaison des prix de revient de la construction et de l'entretien des chemins vicinaux par les ingénieurs et agents voyers** et la comparaison des frais de personnel correspondants, par M. Mazoyer, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

L'auteur expose que les adversaires de la réunion du service vicinal avec le service ordinaire des Ponts et Chaussées présentent à cette fusion les deux objections suivantes :

1° Défaut de dispositions conciliantes chez les ingénieurs;

2° Prix de revient des travaux exécutés par les ingénieurs plus élevé que celui des travaux exécutés par les agents voyers.

La première objection est d'ordre moral; aussi l'auteur se réserve-t-il pour discuter la seconde objection et chercher à démontrer que, si on place le personnel des Ponts et Chaussées dans les mêmes conditions que celui de la vicinalité, on obtiendra des résultats non seulement satisfaisants, mais même supérieurs, sous le rapport de l'économie, aux résultats obtenus avec le personnel vicinal étranger au corps des Ponts et Chaussées, sous le triple rapport :

1° Des dépenses de construction des voies de terre;

2° Des dépenses d'entretien de ces mêmes voies;

3° Des frais généraux d'administration par mètre de longueur de chemin construit ou entretenu.

Les données de la démonstration sont empruntées aux dernières statistiques graphiques publiées par le ministère de l'intérieur en 1883 et relatives à l'année 1880.

Il en résulterait par la comparaison des départements où le service vicinal est dans les mains des Ponts et Chaussées et les autres départements que, pour la construction, la moyenne des chemins, tant de grande et de petite communication qu'ordinaires, revient à 5,45 *f* pour les services d'ingénieurs, et à 6,90 *f* avec les services d'agents voyers, différence 1,45 *f*; que, pour l'entretien, les chiffres moyens, dans les deux cas sont 0,21 et 0,24 par mètre courant, différence 0,03 *f* en plus pour les agents voyers, et enfin que les frais de personnel sont en moyenne de 19,10 *f* pour les ingénieurs, et de 21,86 *f* pour les agents voyers; si cette différence de 2,76 *f* par kilomètre était appliquée à la longueur totale des chemins entretenus par les agents voyers, on pourrait de ce chef seul réaliser une économie annuelle de 820 000 *f*.

La conclusion toute naturelle de ce plaidoyer *pro domo* est que, le service des routes nationales devant subsister dans tous les cas et la fusion des services des voies de terre donnant des avantages incontestables sous tous les rapports, cette fusion ne peut se faire qu'au profit de l'administration des Ponts et Chaussées.

Notice sur le **chemin de fer de l'Arlberg**. — Extrait du journal de M. Dreyfus, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Cette notice, extraite des comptes rendus de M. Ludwig Huss, présentés à la Société des ingénieurs et architectes autrichiens en 1882 et 1884, est divisée en deux parties : l'une concernant le tracé et l'infrastructure de la ligne de l'Arlberg, et l'autre, relative aux conditions d'exécution et aux prix de revient; cette dernière comprend les ponts, viaducs et ouvrages divers, notamment le grand tunnel.

Les communications qui ont été faites à la Société des ingénieurs civils sur le chemin de fer de l'Arlberg ont été assez complètes pour qu'il nous suffise de mentionner cette note sans plus de détails.

Note sur les **chemins de fer d'Amérique**, par M. Le Rond, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Cette note étudie les conditions de tracé et l'exécution de certaines lignes américaines, et entre dans des détails circonstanciés sur la voie, rails, éclissage, joints, traverses et croisements, ainsi que sur l'entretien de la voie.

Note sur le **canal maritime de Manchester**, par M. Voisin-Bey, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Le canal maritime de Manchester part de East-Ham, sur la rive méridionale de l'estuaire de la Mersey ; il suit cette rive pendant 11 *km*, pendant la plus grande partie desquels il est creusé en terre ferme ; puis il abandonne le bord de la Mersey et suit un tracé indépendant presque direct jusqu'à Manchester.

Le canal est partagé en quatre biefs, dont les longueurs successives sont, en nombres ronds, 32, 12, 4 et 6 *km*, soit en tout 54 *km*. La différence totale de niveau est de 12,89 *m*, rachetée par trois groupes d'écluses dont les chutes respectives sont de 4,57 *m*, 4,16 et 4,16.

Chaque groupe se compose de trois écluses accolées dont les sas ont les dimensions suivantes :

Longueur	167 70 *m*.	Largeur	18 30 *m*.
—	91 50	—	12 20
—	30 50	—	6 10.

Le canal aura une largeur au plafond de 36,60 *m*; dans le dernier bief précédant les docks de Salford et de Manchester, cette largeur sera portée à 51,80 *m*. Il y aura de plus les élargissements pour garages permettant aux navires, non seulement de s'y croiser, mais encore d'y faire une évolution complète.

Les talus de la cuvette, dressés à des inclinaisons de 2, 1 1/2 et 1 pour 1, suivant la nature du terrain, seront tous perreyés. La profondeur d'eau normale sera de 26 pieds anglais, soit 7,92 *m*, mais les seuils des écluses seront établis à 28 pieds ou 8,53 *m* au dessous du niveau normal de l'eau pour permettre plus tard l'approfondissement qui pourrait être reconnu nécessaire avec les progrès de la navigation.

Les travaux d'exécution ont une importance considérable; ils comportent 28 millions de déblais en terrain ordinaire et 5,3 en terrain rocheux, ainsi que des ouvrages d'art importants, sans compter les écluses et les docks, tels que déviation et surélévation de chemins de fer, routes et canaux, travaux de défense contre les infiltrations, etc. En effet, le

tracé du canal est actuellement traversé par cinq lignes de chemins de fer pour lesquels il faudra établir des ponts fixes dont le niveau inférieur sera à 22,88 *m* au-dessus du niveau de l'eau, par neuf routes nécessitant des ponts tournants et par le canal de Bridgewater, pour le passage duquel devra être établi un pont-canal tournant.

Le canal sera balisé et éclairé de manière que la navigation puisse s'y faire sans difficulté de jour et de nuit.

L'alimentation du canal sera assurée par une prise d'eau sur la rivière d'Irwell dont le débit journalier est d'au moins 416 000 m^3.

La dépense totale est évaluée à 200 millions de francs, ce qui représente 3 1/2 millions par kilomètre, y compris la dépense d'établissement des docks.

La recette brute du canal en exploitation est évaluée à 18 750 000 *f* pour un trafic de trois millions de tonnes.

SOCIÉTE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

DISTRICT DU NORD

Séance du 18 novembre 1888.

Communication de MM. Simon et Desailly sur la ***dynamite-grisou et la bourre de sûreté Chalon.***

Les auteurs ont fait aux mines de Lievin une série d'essais sur les explosifs au point de vue de leur emploi en présence d'une atmosphère contenant du grisou. Cet essais ont été faits avec un appareil consistant en un bloc d'acier fondu dans lequel est un trou vertical de 0,60 *m* de profondeur sur 4 *cm* de diamètre, où on met la poudre. Sur le sol dans lequel est enterré le bloc se pose un cylindre en tôle de 1,20 *m* de diamètre et 1,57 *m* de hauteur, muni de regards vitrés et fermé à sa partie supérieure par une toile étanche que l'on renouvelle après chaque essai. On introduit dans le cylindre du gaz d'éclairage qu'on brasse avec un agitateur pour le mélanger à l'air d'une manière intime. L'allumage se produit par l'étincelle électrique.

On a essayé l'explosif dit « dynamite-grisou » qui, détonant librement sur le sol ne donne, dans l'obscurité, ni flamme ni même lueur. Avec 80 *gr* d'explosif, et en variant les proportions de gaz pour 100 de mélange, on a eu les résultats suivants : à 10 0/0 de gaz, pas d'explosion; de 12 à 16, explosion; au-dessus de 16 pas d'explosion. On a constaté en même temps que la dynamite à l'ammoniaque produit l'explosion à 10 0/0 de gaz.

La dynamite-grisou, qui est employée couramment à Lievin, doit être recommandée à l'attention des exploitants; elle marque une nouvelle étape dans la voie des poudres à faible flamme.

On a imaginé de se servir d'eau comme bourre pour supprimer la flamme des coups de mine. Cette donnée a servi de point de départ à la cartouche Settle, modifiée ensuite par MM. Heath et Frost.

Notre collègue, M. P. Chalon, a résolu le problème du bourrage à l'eau d'une manière ingénieuse et pratique. Il emploie comme bourre un cylindre plein ayant le diamètre du trou de mine et composé d'eau gélatinisée sous forme très consistante, au moyen de 1/2 à 1 0/0 d'une matière spongieuse. La bourre est élastique et peut être pressée sans que l'eau s'en sépare. Cette bourre se trouve, par l'explosion, divisée mécaniquement en particules ténues qui agissent comme autant de petites éponges et arrêtent la flamme.

Les auteurs ont fait des essais avec cette bourre et reconnu que, si elle est insuffisante pour éteindre la flamme d'une mine qui fait canon et qui est chargée de dynamite-gomme, elle donne en général de bons résultats avec les dynamites perfectionnées (dynamite à l'ammoniaque et dynamite-grisou). Quand les charges sont faibles (160 *gr*), on ne voit pas de flamme ; avec des charges fortes (270 *gr*) il se produit une flamme pâle et peu étendue.

La bourre de M. Chalon mérite d'être signalée comme une des bourres les plus pratiques qui aient été imaginées et son emploi, avec la dynamite à l'ammoniaque ou la dynamite-grisou, donne une grande sécurité.

En Allemagne, on essaye la *roburite* et la *carbonite* qui ne donnent qu'une faible flamme, mais on ne paraît pas encore fixé sur leur valeur ; ces explosifs ont l'inconvénient d'être d'un prix élevé.

En Angleterre, la *bellite*, qui est composée de nitrate d'ammoniaque et de binitrobenzine, paraît être en faveur.

On peut signaler encore la *grisoutite*, essayée en Belgique, qui parait jouir d'une manière à peu près absolue de l'immunité en présence des mélanges les plus dangereux.

En Autriche on a essayé une cartouche à sable mouillé ou plutôt à kieselguhr qui absorbe près de 30 0/0 de son poids d'eau ; cette cartouche, due à M. Jicinsky, donne de bons résultats.

Communication de M. Reumaux sur le **matériel des houillères.** — Cette communication a pour objet la description de modifications apportées par l'auteur à diverses parties du matériel des mines de Lens.

Il a notamment appliqué la condensation à la machine d'extraction et fait opérer la manœuvre du frein simultanément par la vapeur et l'air comprimé pour éviter les accidents pouvant provenir de la rupture de la conduite générale de vapeur.

Le frein est également manœuvré par un obturateur automatique lorsque la cage arrive au jour et dépasse la recette.

La note décrit les perfectionnements apportés aux cages, taquets, chargement des charbons, matériel de roulage et matériel pour l'air comprimé. Au sujet de ce dernier, il est intéressant d'indiquer que la force motrice employée aux mines de Lens s'élève à 1 200 chevaux ; le nombre des machines mues par l'air comprimé est de 178, la longueur des conduites de 40 *km*. Les moteurs à air utilisent la détente avec injection

d'eau et les treuils pour le fond sont à deux cylindres oscillants dont l'un sert de cylindre de détente.

Communication de M. Breton sur une **mine houillère au mineur-ingénieur.** — L'auteur expose dans cette communication les raisons qui l'ont engagé à se rendre acquéreur de la concession d'Hardinghem. Il entre dans des détails curieux sur l'encouragement que reçoit en France l'industrie minière de l'administration supérieure.

Note de M. Engelbach sur l'**éclairage électrique de la pompe souterraine de la fosse l'Enclos.** — Cette fosse, qui appartient à la Compagnie des mines d'Anzin, sert à l'extraction de l'eau dont le volume n'est pas de moins de 7 400 *hl* par jour, et qui est opérée par une machine d'épuisement souterraine. Il était nécessaire d'éclairer le local de cette machine et il ne l'était pas moins de ne pas employer de lampes à feu nu, à cause du retour possible de l'air des galeries contenant du grisou.

On a eu recours à l'éclairage électrique par lampes à incandescence. La venue d'eau permettait de produire une force de 3 chevaux environ par une chute de 60 *m* qu'on a utilisée par une turbine Girard à axe horizontal et injection partielle de 260 *mm* de diamètre extérieur faisant 1220 tours par minute et actionnant directement la dynamo. L'éclairage comprend huit lampes Swan de seize bougies.

L'installation complète a coûté 2 500 francs. Le coût total de l'éclairage, amortissement compris, ressort à 2 83 *f* par jour. Sécurité à part, on peut compter qu'il faudrait 4 *f* d'huile par jour pour obtenir un éclairage correspondant avec des lampes.

Communication de M. Tyrode sur son **système de préparation mécanique.** — Le classificateur Tyrode, construit par M. Delsart à Anzin, est constitué par un cylindre mobile autour de son axe et recevant un mouvement alternatif d'oscillation.

Les charbons arrivent à la partie supérieure par une noria et circulent successivement sur des tôles perforées inclinées formant une série de cloisons superposées. Les produits du criblage viennent se déverser à l'extrémité de chaque tôle perforée sur des courroies de transport. Le cylindre a de 2 à 3 *m* de diamètre et 2,50 *m* de hauteur. Le débit peut aller à 300 *t* par jour.

District du Sud-Est.

Séance du 4 novembre 1888.

Communication de M. Gudin du Pavillon sur l'**emploi du pulsomètre aux mines de Portes.** — Un pulsomètre installé au fond d'une descenderie aux mines de Portes refoule à 14 *m* et aspire de 2 *m*. Il est à 220 *m* du générateur de vapeur qui est une chaudière de locomobile de 6 chevaux. L'appareil épuise 185 *m* en 10 heures; la dépense est de 250 *kg* de débris d'agglomérés valant 3,50 *f* et de 4 *f* pour le salaire du chauffeur, ce qui fait ressortir le coût du mètre cube élevé à 0,04 *f*. Il n'y a pas d'entretien.

Le même appareil placé plus près du générateur a donné le même volume d'eau, mais la dépense n'a été que de 147 *kg* de combustible, de sorte que le prix du mètre cube élevé est descendu à 3,1 *c*.

Cet appareil rend de grands services par sa simplicité et sa solidité; il a de plus le précieux avantage de pouvoir être pendu à un cadre par une simple chaîne et remonté ou descendu avec la plus grande facilité.

Communication de M. Lange sur le **fonçage du puits Descours (Rochebelle)**.

Communication de M. Lange sur un **guidage en fer au puits de Fontanes**.

Réunions de Saint-Étienne.

Séance du 2 février 1889.

Visite de l'École professionnelle. — L'École professionnelle de Saint-Étienne est une Ecole municipale, mais elle est placée sous la direction de l'État qui nomme les professeurs. Son but est de préparer des ouvriers instruits pour les diverses industries de la région et des employés de commerce. Les élèves sont tous externes, ils sont admis depuis l'âge de douze ans. La durée des cours est de quatre ans.

L'École comprend cinq salles d'études de soixante places chacune, cinq salles en amphithéâtre et un amphithéâtre de cent cinquante places, un cabinet de physique, un laboratoire, une salle de dessin, une bibliothèque et un musée, dans un bâtiment. Un autre bâtiment comprend les ateliers, savoir : des ateliers de forge, fonderie, armurerie, menuiserie, sculpture, tissage et teinturerie, dont les machines-outils sont actionnées par un moteur de 30 chevaux. L'éclairage électrique de l'École comporte 280 lampes à incandescence, de 10 à 20 bougies, et une lampe à arc.

Communication de M. Dessendier sur son **photomètre enregistreur et avertisseur**.

Le principe de cet appareil est le suivant : Si on prend un mélange à volumes égaux d'hydrogène et de chlore et qu'on le maintienne dans l'obscurité, il n'y a pas de combinaison ; si on expose le mélange à la lumière, il y a combinaison et formation d'acide chlorhydrique ; ce dernier peut être absorbé par une solution chlorée, dont le volume est proportionnel à la quantité de lumière reçue par le mélange gazeux.

Divers savants, Draper, Bunsen et Roscoë, ont tenté de tirer parti de cette réaction pour établir des photomètres, mais les appareils n'étaient pas pratiques.

M. Dessendier a réussi en combinant un appareil très ingénieux, mais dont la description ne pourrait être comprise sans le secours de la figure qui accompagne la note à laquelle nous sommes obligés de renvoyer. Il suffira d'indiquer que le niveau du liquide, qui absorbe le produit de la combinaison des gaz déterminée par la lumière, s'élevant, ce déplacement est tracé par un crayon sur un tambour enregistreur. Cet ingénieux appareil a été appliqué par son auteur au tirage automatique des épreuves photographiques. On conçoit que, lorsqu'on a préalablement constaté la

quantité de lumière qui doit traverser un cliché, on peut régler l'appareil de telle sorte que, lorsque cette quantité est atteinte, un déclenchement soulève le cliché et fasse avancer une bande de papier sensible de la longueur nécessaire pour faire une nouvelle épreuve.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin de Décembre 1888

Rapport sur les **essais de rendement des pompes centrifuges et à pistons** de MM. Schaeffer, Lalance et C[ie], à Pfastatt, présenté au nom du Comité de mécanique, par M. de Glehn.

Ces installations comportent une machine de MM. Hathorn et Davey, de Leeds, composée d'un moteur Conpound à deux cylindres, actionnant des manivelles à 90°, commandant par des balanciers d'équerre quatre pompes verticales.

Les cylindres ont 482 et 838 *mm* de diamètre et 0,908 *m* de course. Il n'y a pas d'enveloppes aux cylindres et la distribution se fait par des tiroirs ordinaires mus par des excentriques.

Les pistons des pompes ont 558 *mm* de diamètre et 0,908 *m* de course.

Cette installation a coûté 134 000 *f* en nombres ronds, dont 54 000 pour les machines et pompes.

L'installation annexe comporte une machine à vapeur horizontale, commandant par engrenages et courroies deux pompes centrifuges conjuguées du type Neut et Dumont.

Il a été fait dix essais sur les pompes à piston et quatre sur les pompes centrifuges. On a relevé le rendement des pompes et le rendement de la machine en eau montée, c'est-à-dire le rapport du travail en eau montée au travail indiqué sur les pistons.

Pour les pompes à piston, le rendement en volume des pompes a varié de 1 à 0,992 et le rendement de la machine de 0,738 à 0,646. Ce rendement a diminué très régulièrement au sens inverse de la vitesse, de 0,738 pour 13,3 tours par minute à 0,646 pour 26,1 tours.

Pour les pompes centrifuges, le rendement a varié de 0,484 pour 470 tours par minute de la pompe à 0,347 pour 611 tours.

Rapport de l'**Association pour prévenir les accidents de fabrique** *(Suite et fin)*.

La fin de ce rapport, dont le commencement se trouve dans le numéro d'octobre et novembre (voir Comptes rendus de février 1889, page 312), contient l'examen de quelques appareils préventifs pour monte-charges tels que tire-sacs Mégy, parachutes, monte-charges hydrauliques ascen-

seur funiculaire Otis, ascenseurs avec puits Heurtebise, etc., et se termine par quelques considérations sur l'application des parachutes aux monte-charges de fabriques.

Études sur le **frottement des tourillons de petit diamètre** à grande vitesse, par M. Rod. Bourcart.

L'auteur arrive à la conclusion que, dans les transmissions par cordes et courroies, le coefficient de frottement est fonction inverse de la pression totale exercée par les deux brins de la corde sur l'axe. Ce résultat a été atteint, en étudiant le frottement de tourillons, de 6 à 7 *mm* de diamètre, tournant à des vitesses de 7 000 à 17 000 tours par minute.

On ne peut donc plus admettre que le frottement est indépendant de la pression et de la vitesse, la proportionnalité directe avec la vitesse des surfaces en contact ayant été démontrée par une première série d'expériences, en 1886.

Note sur le **compteur acoustique**, par M. Rod. Bourcart.

On peut se rendre compte du nombre de tours d'un organe animé d'une très grande vitesse par l'emploi d'un instrument formé d'un tube de verre de 8 à 9 *mm* de diamètre intérieur, dans lequel on ajuste à frottement doux un bouchon de liège, que l'on peut faire avancer ou reculer par le moyen d'une tige métallique. En sifflant dans ce tube comme dans une clé, on peut accorder ce sifflet au *la* normal à 435 vibrations doubles par seconde, avec une position donnée du bouchon. Si donc on ménage une saillie sur le corps en rotation et qu'on y applique une carte qui entre en vibration, le son de cette carte pourra être reproduit par le tube en faisant varier la position du bouchon dans le tube. Comme les nombres de vibrations par seconde sont inversement proportionnels aux distances entre le bouchon et l'ouverture, on aura le nombre de tours par une simple proportion.

Recherches sur les **xylidives et leurs dérivés** par MM. E. Noelting et J. Fruehling.

Rapport de MM. E. Noelting et F. Binder sur un mémoire de M. Fischli: **théorie de la fabrication du rouge d'Andrinople**, présentée pour le concours au prix n° III.

Projet de création d'une **bibliothèque artistique au musée de tableaux**, présenté par le comité des beaux-arts.

Rapport sur l'**École d'art professionnel de jeunes filles** (année 1887-88), présenté au nom du comité par M. Alp. Favre.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 9. — 2 *mars* 1889.

Distribution de force par l'air comprimé (système Popp), à Paris, par A. Riedler.

Installations de chauffage et ventilation des bâtiments de l'académie de marine à Kiel, par Herm. Fischer *(fin)*.

Métallurgie. — Progrès dans la production et le travail du fer obtenu par fusion (flusseisen), par R. M. Daelen *(fin)*.

Groupe de Saxe. — Réunion à Zwickau. — Entrainement de l'eau par la vapeur. — Filature de laine de H. Dietel. — Procédés de carbonisation du bois.

Patentes.

Bibliographie. — Exercices d'applications de la géométrie descriptive, du Dr Guido Hauck. — Le téléphone et ses applications, par J. Maier et W.-H. Preece.

Correspondance. — Nouvelle chaudière à grand volume d'eau et sa disposition de chauffage.

Variétés. — Exposition générale allemande d'appareils contre les accidents. — Tuyaux en acier étirés par le procédé Mannesmann. — Exploitation des chemins de fer allemands en 1887-88. — Importation et exportation de machines et matériel de transport pour l'union douanière allemande en 1888.

N° 10. — 9 *mars* 1889.

Distribution de force par l'air comprimé (système Popp) à Paris, par A. Riedler *(fin)*.

Considérations sur l'électromagnétisme et l'induction comme bases d'une théorie des machines dynamos, par M. Fritsche.

Chemins de fer. — Voies métalliques. — Rail Goliath.

Machines à travailler le bois. — Expériences sur l'avancement des porte lames de scieries.

Matériaux. — Épaisseur des tôles.

Groupe de Berlin. — Carbonisation des bois.

Patentes.

Bibliographie. — Manuel d'électricité pratique, de Ayrton. — Machines à faire la glace et à refroidir l'air, par Gottlieb Behrend.

N° 11. — 16 *mars* 1889.

Inflammation dans les moteurs à gaz, par H. Ebbs.

Mouvement et résistance des clapets de pompes, par O. Hoppe.

Réforme de la loi des patentes d'invention, par F. Schotte.

La cire minérale (Ozokerite).

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Exploitation de l'ozokérite à Boryslaw en Gallicie.

Patentes.

Bibliographie. — Installations contre l'incendie pour usages domestiques et industriels du Dr F. Fricher.

Variétés. — Études sur l'histoire naturelle.

N° 12. — 23 *mars* 1889.

Expériences sur une machine à glace système Raoul Pictet, par M. F. Gutermuth et B. Salomon.

Mouvement et résistance des clapets de pompes, par O. Hoppe *(fin).*

Chemins de fer. — Voies entièrement métalliques *(fin).*

Groupe de Breslau. — Indicateur de fuites de Meinecke, pour distributions d'eau.

Groupe de Francfort-sur-le-Mein. — Exploitation des tramways électriques.

Patentes.

Correspondance. — Machines Corliss. — Nouvelle chaudière à grand volume d'eau.

N° 13. — 30 *mars* 1889.

Expériences sur une machine à glace système Raoul Pictet, par MM. F. Gutermuth et B. Salomon *(fin).*

Régularisation de la pression dans les usines à gaz, théorie du régulateur d'usine, par E. Ledig.

Métallurgie. — Fours de fusion.

Groupe du Rhin inférieur. — L'aluminium.

Patentes.

Bibliographie. — Calculs pour la superstructure des chemins de fer, par le docteur H. Zimmermann.

Correspondance. — Emploi de l'air sous pression.

Variétés. — Diagrammes pour l'éclairage. — Ingénieurs et électriciens. — Les plus grands paquebots transatlantiques. — Chauffage sans fumée pour chaudières à vapeur. — Le premier chemin de fer en Chine. — Eclairage électrique de la ville de Zürich.

Pour la Chronique et les Comptes-rendus.
A. Mallet.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 5928-4-9.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AVRIL 1889

N° 4

Sommaire des Séances du mois d'avril 1889.

1° *Décès* de MM. L. Corpet, J.-C. Battaille, A. Fragneau (Séance 5 et 26 avril, pages 606 et 636);

2° *Décorations* (Séances des 5 et 26 avril, pages 606 et 636) ;

3° *Perfectionnements à apporter aux navires de guerre*, lettre de M. Edouard Henry (Séance du 5 avril, page 606) ;

4° *Métallurgie du fer et de l'acier en Allemagne*, lettre de M. Walrand (Séance du 5 avril, page 606);

5° *Aperçu général des dispositions et installations de l'Exposition universelle de 1889*, par M. J. Charton (Séance du 5 avril, page 607);

6° *Notice nécrologique* sur M. E. Taillard (Séance du 26 avril, page 636);

7° *Puits artésiens à pétrole en Galicie*, lettre de M. Horace Hervegh (Séance du 26 avril, page 636);

8° *Congrès des Sociétés savantes (Date du)*, lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts (Séance du 26 avril, page 637) ;

9° *Congrès international des accidents du travail (Avis relatif au)*, par M. E. Gruner (Séance du 26 avril, page 637);

10° *Les balances électriques*, par M. J. Pillet (Séance du 26 avril, page 638);

11° *Les ascenseurs de la tour de 300 mètres*, par M. Ansaloni (Séance du 26 avril, page 640);

Pendant le mois d'avril, la Société a reçu :

30461 — De la Redaccion de El Ingeniero civil. *Conférencia final del curso de Theoria de la Elasticidad* (Conférence finale du cours de théorie de l'élasticité), par Jorge Duclout. Buenos-Ayres, G. Kraft, 1888. — Br. de 33 p. in-8.

30462 — De M. Em. Reynier (membre de la Société). *Les voltamètres-régulateurs zinc-plomb.* Paris, Baudry et Cie, 1889. — Br. de 24 p. in-8.

30463 — De M. J. Hetzel. *L'Hygiène du travail*, par le Dr E. Morin. Paris, J. Hetzel et Cie, 1889, in-18 de 288 p.

30464 — De M. J. Maitre (membre de la Société). Surface et volume des surfaces de révolution. Limoges, Ducourtieux, 1888, in-8 (publié par *le Gay-Lussac*).

30465 — De M. Béloin (membre de la Société) *The Abt system of railway for steep inclines*, by Walton w. Evans (American Society of civil Engineers October 1885) (Les chemins de fer système Abt pour plans inclinés), in-8.

30466 — Du même. *Études sur le frottement, le graissage des machines et les lubrifiants* par Robert H. Thurston. Paris, B. Tignol, 1887, petit in-8, de 184 p.

30467 — Du même. *Report of the Rudder alone and of the Kunstadter system, made to the Bureau of steam Engineering navy département.* (Rapport du bureau du département naval fait sur le gouvernail unique et sur le système Kunstadter. New-York, Brown et Wilson, 1885, in-8 de 75 p.

30468 — De M. le baron ertrand (m. de la Société) *Carte de Rennes*, fo 12,
30469 — — — — *Paris*, fo 13,
30470 — — — — *Metz*, fo 14,
au $\frac{1}{320.000}$, par le Dépôt de la Guerre.

30471 — Du Ministère des Travaux publics. *Album de statistique graphique de 1887*. Paris, imp. nat., 1888. in-fo.

30472 — De M. de Dax (membre de la Société) *Géométrie et Mécanique des arts et métiers et des beaux-arts*, tomes 1 et 2, Paris, Bachelier, 1825, in-8 de 442 p. et de 509 p., par le baron Ch. Dupin.

30474 — Du même, *Leçons élémentaires de mathématiques*, par l'abbé de la Caille. Paris, Vve Desaint, 1784, in-8 de 527 p.

30475 — De M. de Churruca, par l'intermédiaire de M. de Cordemoy (membre de la Société). *Projecto de la Mejora de la Barra y de Encauzamiento de la Mitad inferior de la Ria de Bilbao*, par Don Evaristo de Churruca (Annales de Obras Publicas, tomo undecimo). Madrid. 1883, in-8 de 480 p. (Projet de l'amélioration de la barre et de l'endiguement de la moitié inférieure de la rivière de Bilbao).

30476 — De M. L. Rey (membre de la Société), *Leçons sur les chemins de fer*, par Minard. Paris, Carilian Gœury, 1834, in-4 de 84 p.

30477 — Du Comité central des houillères de France. *Rapport sur les mines*, par M. Jacques Piou, député. Paris, Quantin, 1889. in-4 de 233 p.

30478 — Une brochure anglaise, *The Eiffel Tower*. London, Hagen et Cº 1889, petit in-8 de 36 p.

30479 — *Statuts de la Société électrotechnique de France*, Paris, Vve Éthiou Pérou et fils, 1857, feuille in-4.

30480 — De M. Charton (membre de la Société). *Exposition de 1889. — Palais des machines.* — Photographie de l'ossature du pignon vitré nord-est. Paris, Godefroy, 1889.

30481 — *Exposition de 1889.— Palais des machines.*— Photographie de la vue extérieure du pignon vitré nord-est. Paris, Godefroy, 1889

30482 — De M. Charpentier de Cossigny (membre de la Société), *Sur les altérations et la conservation des bois d'œuvre.* — Troyes, Dufour-Bouquot, 1888; in-8 de 7 pages (15 exemplaires).

30483 — De M. Moutier, cinq brochures relatives à l'*Organisation du travail dans la maison Moutier, à Saint-Germain-en-Laye.*—Paris, Chaix et Cie, 1888, in-8.

30484 — De MM. André, Daly fils et Cie, *Dictionnaire juridique et pratique de la propriété bâtie* (vol. III, 1er fascicule), par H. Ravon et G. Collet-Corbinière.— Paris, André, Daly fils et Cie, 1889; grand in-8 de 288 pages.

30485 — De M. P.-F. Hallopeau (membre de la Société), *Emploi de l'acier doux (fer fondu) dans la construction des ponts métalliques pour chemins de fer. Pont de Gagnières (Gard).* — Paris, Veuve Ch. Dunod, 1889; grand in-4 de 39 pages.

30486 — De MM. Riffaud et Civet, *Notice sur le chemin de fer industriel de la Plaine-Saint-Denis et d'Aubervilliers et plan d'ensemble des voies et des usines desservies.* — Paris, Broise et Courtier. 1888; brochure in-4 de 4 pages.

30487 — De la Société de géographie de Paris, *Programme des questions posées au Congrès international des sciences géographiques de 1889.* — Paris, Imprimeries réunies, 1889; in-8 de 20 pages.

30488 — De M. William Jackson, *Thirteenth annual Report of the Boston Water Board for the year ending December 31, 1888.*—Boston, Rockwell and Churchill, 1889; in-8 de 128 pages.

80489 — De M. J. Claey, *Nouveau système de machine à vapeur à détente variable automatique.*— Gand, 1888; grand in-4 de 12 pages.

30490 — Du Syndicat des Ingénieurs-Conseils, *Projet de modification de la loi des Brevets d'invention du 5 juillet 1844.* (Bulletin du Syndicat des Ingénieurs-Conseils en matière de propriété industrielle.) — Paris, siège du Syndicat, 1889, 3 fr.; in-8 de 106 pages.

30491 — De M. Charton (membre de la Société), *Vingt photographies du dôme du palais des Beaux-Arts, à l'Exposition universelle de 1889* constatant le degré d'avancement des travaux, du 27 mai au 24 novembre 1888.

30492 — De M. H. Hervegh (membre de la Société), *Note sur le tirage des mines dans les fosses à grisou.* — Paris, Chaix et Cie, 1889; in-8 de 8 pages.

30493 — Du même, *Trois photographies de puits artésiens à pétrole, à Wietrzno (Galicie).*

30494 — De M. Deby (membre de la Société), *The Hydro-Metallurgy of Copper Results of Experiments for Extracting copper from Sulphides by the Wet Process* (Journal l'*Industrie*). London, Geo Cawley, 1889; in-f°.

30495 — De M. H. Hervegh (membre de la Société), *Huit photographies relatives à l'exploitation de gisements d'ozokérite à Boryslaw-Wolanka (Galicie), avec échantillons d'ozokérite brute* (hydrocarbure dérivé du pétrole) et des roches et minerais qui l'accompagnent, provenant du terrain tertiaire-miocène de Boryslaw-Wolanka, ainsi que des échantillons de *cire minérale commerciale* (ozokérite fondue), et des produits industriels qu'on en retire, tels que *paraffine* et *cérésine* (remplaçant la cire d'abeille).

30496 — De M. H. Ruelle (membre de la Société), *Les Chemins de fer vicinaux, départementaux ou d'intérêt local au point de vue de leur exécution.* — Paris, E. Dentu et Dunod, 1867; in-8 de 32 pages.

30497 — De M. le baron Bertrand (membre de la Société), *Règle à calcul de Lenoir, portant l'indication des anciennes mesures.*

30498 — De MM. Alfred et Gustave Tresca (membres de la Société),
30575 78 brochures in-4° formant l'ensemble des travaux du général Morin, de 1845 à 1879.

30576 — De M. F. de Garay (membre de la Société), *El valle de México. Apuntes históricos sobre su hidrografia desde los tiempos mas remotos hasta nuestros dias.* (La vallée de Mexico. Notes historiques sur son hydrographie depuis les temps les plus éloignés jusqu'à nos jours). — Mexico, 1888, in-8° de 93 p.

30577 — De M. Ad. Fer. de Loureiro, par l'intermédiaire de M. H. Hersent (membre de la Société), *Etudos sobre alguns portos commerciales da Europa, Asia, Africa e Oceania e sobre diversos servicos concernentes à Engenheria civil.* (Etudes sur divers ports commerciaux de l'Europe, l'Asie, l'Afrique et l'Océanie et sur divers services concernant l'Ingénieur civil). — Coimbra, 1885 et 1886, 2 vol. gr. in-8° et un atlas.

30578 — Du même, *O porto de Macau. Ante projecto para o seu melhoramento.* (Le port de Macao. Avant-projet pour son amélioration). Coimbra, 1884, vol. gr. in-8° de 286 p. avec planches.

30579 — De l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur, *Compte rendu des séances du 12e Congrès des Ingénieurs en chef, tenu à Paris, les 7 et 8 novembre 1887*. Rouen, Deshayes et Cie, 1888, gr. in-8o de 200 p.

Les Membres nouvellement admis, sont :

Comme Membres sociétaires :

MM. A. Bede	présenté par MM.	Moreau, D. Casalonga et C. Casalonga.
A. Burel	—	Daguin, Guyot-Sionnest et Chouanard.
A. Gabelle	—	Hallopeau, Dujour et Gressier
H. Hospitallier	—	Eiffel, Fontaine et Charpentier.
L. Lacombe	—	Vigreux, Haillot et Douillet.
R. Lahaye	—	Brüll, Boudenoot et A. de Dax.
E. Lavezzari	—	Gottschalk, Appert et Herscher.
L. Levesque	—	de Comberousse, Avisse et Seyrig.
E. Vinet	—	Bobin, C. Gibault et E. Gibault.

Comme Membres associés :

MM. E. Enfer	présenté par MM.	Carimantrand, Lévi et Mallet.
E. Garnier	—	Boulet, Seiler et André.

RÉSUMÉ
DES
PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES
DU MOIS D'AVRIL 1889

Séance du 5 Avril 1889.

PRÉSIDENCE DE M. G. EIFFEL

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer la mort de M. L. Corpet, qui était membre de la Société depuis 1869. Sorti de l'École centrale, en 1867, c'était un ingénieur de grand mérite, qui apportait dans l'exercice de sa profession beaucoup de science et d'activité. La Société prend une large part au deuil cruel qui a si prématurément frappé sa famille.

M. LE PRÉSIDENT a le plaisir d'annoncer que M. Cahen Strauss a été nommé chevalier de l'Ordre royal du Cambodge.

M. Vigreux, encore souffrant, s'excuse de ne pas pouvoir venir faire sa communication inscrite à l'ordre du jour.

M. LE SECRÉTAIRE donne lecture d'une lettre de M. Edmond Henry, qui pense, en présence du récent désastre de Samoa, qu'il serait possible d'apporter aux navires de guerre un perfectionnement important, consistant à avoir dans ces navires une force constamment disponible, emmagasinée sous forme d'air comprimé, et permettant de les mettre en mouvement, sans attendre la mise en pression des chaudières.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre de M. Walrand, relative à la communication (séance du 15 mars) de M. Bresson sur l'état actuel de la métallurgie du fer et de l'acier en Allemagne, et dans laquelle la découverte des procédés de déphosphoration est revendiquée au profit de MM. Thomas et Gilchrist, qui ont livré les premiers, en 1878, des aciers de bonne qualité obtenus par des procédés pratiques et industriels. C'est en 1879 que l'on expérimenta, avec succès, au Creusot, la garniture en pisé dolomitique au goudron, qui est universellement employée aujourd'hui pour le revêtement des convertisseurs. C'est aussi, à cet établissement que revient l'honneur, d'après l'auteur de la lettre, d'avoir rendu pratique la déphosphoration sur sole basique ; si les Anglais ont fait les premiers de l'acier déphosphoré, au convertisseur, de bonne qualité, l'invention n'en est pas moins d'origine française.

Dans une autre lettre relative à la communication de M. Jordan (séance du 7 décembre 1888) sur la traduction faite par M. Hallopeau de l'ouvrage de sir Lowthan Bell, *sur les principes de la fabrication du fer*

et de l'acier, M. Walrand dit que le premier convertisseur dont on a fait usage avec succès aux forges de Stenay est celui qu'ont inventé MM. Walrand et Delettre; ce n'est que plus tard que, d'accord avec eux, M. Robert, ingénieur de cette usine, s'est fait breveter pour les améliorations qu'il avait apportées au procédé primitif.

M. Charton a la parole pour sa communication sur *l'Aperçu général des dispositions et installations de l'Exposition universelle de 1889.* Après avoir fait distribuer à chaque membre de la Société un plan général de l'Exposition, pour permettre de suivre plus facilement ses explications. il s'exprime en ces termes :

APERÇU GÉNÉRAL
DES DISPOSITIONS ET INSTALLATIONS
DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

Messieurs,

Notre Président a pensé qu'il pourrait être intéressant de vous donner un aperçu général des dispositions et installations de l'Exposition universelle qui, le mois prochain, va ouvrir ses portes au monde entier.

C'est pour répondre à son désir, que, sur sa demande, je vais, si vous le voulez bien, vous conduire pendant quelques instants au milieu des constructions, parcs et jardins de l'Exposition qui, par son importance, son aspect véritablement grandiose et l'architecture de ses vastes palais, laisse bien loin derrière elle les expositions précédentes qui ont eu lieu soit en France soit à l'Étranger.

Certes, il eût été facile de trouver un meilleur guide! Aussi, et comme je ne suis pas orateur, je demande votre indulgence pour cette causerie qui sort un peu du cadre habituel des communications purement techniques qui vous sont faites.

Grandes divisions de l'Exposition.

L'Exposition se divise en quatre parties principales :

— Le Champ de Mars, comprenant la section des Beaux-Arts et celle des Arts Libéraux, la section des produits divers et la section des machines ;

— Le Trocadéro, comprenant principalement l'exposition d'horticulture ;

— Le quai d'Orsay, de l'avenue de La Bourdonnais à l'Esplanade des Invalides, comprenant la section des produits et appareils agricoles, ainsi que la section des produits alimentaires.

— Et l'Esplanade des Invalides, comprenant les expositions des Ministères et les expositions des Colonies françaises et des pays de protectorat.

Au milieu, pour ainsi dire, de ce vaste emplacement constitué par ces quatre grandes divisions, présentant, sans comprendre la partie occupée sur les berges de la Seine, une surface totale de plus de 70 *ha*, supérieure de 20 *ha* à celle de l'Exposition de 1878, s'élève, à l'entrée du Champ de Mars, dans l'axe du pont d'Iéna, la Tour de 300 *m*.

La Tour Eiffel.

M. Eiffel, avec ses deux principaux et vaillants collaborateurs et Ingénieurs de sa maison, MM. Nouguier et Kœchlin, et M. Sauvestre, architecte, a conçu et exécuté ce monument colossal. Mais il a eu un autre mérite que l'on ne connaît pas assez et que je tiens à signaler (il ne m'en voudra pas, je l'espère), c'est l'énergie, la volonté opiniâtre qu'il a su déployer pour triompher des attaques qui ont surgi au début contre son projet.

Rien n'a pu faire fléchir sa ténacité; il sentait qu'il avait l'opinion publique pour lui; il avait le sentiment profond que pour célébrer le Centenaire de 1789, il fallait oser, dresser un monument incomparable, digne du génie industriel de la France. *(Très bien! Très bien! Applaudissements.)*

M. Eiffel a réussi; son œuvre est universellement connue aujourd'hui jusque chez les peuplades les moins civilisées de l'Afrique et de l'Amérique, et la plupart de ses détracteurs du début sont devenus ses admirateurs. *(Nouveaux applaudissements.)*

Dimanche dernier, 31 mars 1889, il a planté lui-même le drapeau tricolore qui flotte sur la plate-forme située à 300 *m* au-dessus du sol, et lorsqu'il fut descendu, revenu sur ses chantiers, c'est là, en présence de ses Ingénieurs, de tous ses ouvriers, et du haut personnel de l'administration de l'Exposition, que M. le Président du Conseil des Ministres lui a annoncé qu'il était promu au grade d'Officier de la Légion d'honneur. *(Bravo! Bravo! Triple salve d'applaudissements.)*

A l'occasion de cette haute distinction honorifique, que M. Eiffel a si bien méritée, pour tous les grands travaux qu'il a exécutés,

comme ceux du viaduc de Garabit et de la Tour de 300 *m*, permettez-moi, Messieurs, au nom de tous les membres de la Société ici présents, d'adresser à notre Président nos plus vives et chaleureuses félicitations. (*Bravo ! Bravo ! Applaudissements répétés.*)

M. Polonceau dit que son collègue, M. Contamin, l'avait chargé de prendre la parole pour demander à la Société d'adresser à notre sympathique président ses plus chaudes félicitations.

M. Charton l'ayant fait dans les meilleurs termes, il n'ajoutera que quelques mots. Les titres de M. Eiffel à la distinction si bien méritée qui vient de lui être décernée ne consistent pas seulement dans la construction de la tour qui portera son nom, mais dans la série des travaux importants qu'il a exécutés de tous les côtés, en France et à l'étranger ; partout il a porté haut le drapeau français. (*Très bien ! très bien !*)

Il propose que, dans la réunion de ce jour, la Société vote par acclamation des félicitations à M. Eiffel pour la haute distinction honorifique qui lui a été accordée ; nous sommes tous heureux de voir la rosette orner sa boutonnière. (*Très bien ! Bravo ! Applaudissements prolongés.*)

M. Eiffel dit qu'il est profondément touché de la marque de sympathie que l'on vient de lui témoigner.

Cette décoration, à laquelle il ne s'attendait pas, lui a été décernée inopinément, et cela a été pour lui une grande et agréable surprise.

La façon dont elle lui a été décernée lui a été des plus sensibles, car c'est sur son chantier, comme l'a dit M. Charton, au milieu de ses Ingénieurs, en présence de tous ses ouvriers, qu'elle lui a été accordée. « Aujourd'hui, ajoute-t-il, vous en augmentez le prix, je vous le dis du fond du cœur, en la sanctionnant par vos marques de sympathie et vos applaudissements que je n'oublierai jamais. » (*Triple salve d'applaudissements.*)

M. Charton. — Vous connaissez déjà, Messieurs, la Tour de 300 *m* dans presque tous ses détails. Son exécution, comme vous le savez, a marché avec une précision mathématique ; tout a été si bien prévu et calculé, qu'aucun mécompte ne s'est produit. Les 7 300 000 *kg* de fer se sont réunis, assemblés et élevés comme par enchantement.

Sous peu, les ascenseurs fonctionneront : 2 350 personnes pourront monter par heure au premier et au deuxième étage, et 750 personnes au sommet ; la durée totale de l'ascension sera de sept minutes environ.

En comprenant les escaliers, il sera possible de permettre la visite de la Tour à 5 000 personnes par heure.

C'est beaucoup, et cependant il y a presque certitude que ce seront plutôt les moyens d'ascension qui feront défaut que les visiteurs mêmes.

Passerelles.

Pour relier le Champ de Mars, le Trocadéro, le quai d'Orsay et les Invalides, sans interrompre les voies de communications existantes, on a construit six passerelles: deux sur la rive droite de la Seine, pour permettre l'accès du pont d'Iéna (qui est compris dans l'enceinte de l'Exposition) au Trocadéro; quatre sur la rive gauche, dont deux sur la tranchée du quai d'Orsay, une au carrefour de l'Alma et la dernière au carrefour de Latour-Maubourg.

Plusieurs de ces passerelles sont des ponts démontables portatifs, dont les types ont fait ici l'objet d'intéressantes communications

Chemin de fer intérieur.

En outre, pour pouvoir se rendre facilement et rapidement dans une des parties de l'Exposition, on a créé un chemin de fer intérieur.

C'est un chemin de fer à double voie, de 0,60 *m* de largeur chacune, système Decauville; il a son point de départ à la porte d'entrée principale de l'Esplanade des Invalides, suit tout le quai d'Orsay entre deux rangées d'arbres qui, par leur feuillage, formeront un véritable et long bosquet sous lequel circuleront les trains; il passe en tunnel sous le carrefour de l'avenue Rapp et de l'avenue Bosquet, croise l'avenue de La Bourdonnais, s'engage dans la tranchée qui limite le Champ de Mars en avant de la Tour, et tourne ensuite pour longer l'avenue de Suffren, jusque près de l'École Militaire où se trouve la station terminus.

Son développement total est de 3,5 *km* et il comporte trois stations intermédiaires ; celles de l'Agriculture, du Palais des produits alimentaires et celle de la Tour Eiffel. La déclivité maxima atteint 25 *mm*, le rayon minimum des courbes est de 43 *m* et les rails qui sont en acier pèsent 9,5 *kg* par *m*. Les locomotives seront de trois types : type Mallet-Compound, type Pichot-Bourdon et type ordinaire de Petit-Bourg.

A partir de neuf heures du matin jusqu'à onze heures du soir, les trains circuleront, en semaine, de dix minutes en dix minutes, et, les dimanches et jours de fêtes, de cinq en cinq minutes.

Ce chemin de fer rendra évidemment de grands services.

Comme l'une des principales entrées de l'Exposition — la plus proche du centre de Paris — est celle de l'Esplanade des Invalides, située à 260 *m* seulement du pont de la Concorde, la foule des

visiteurs se portera en grande partie de ce côté, et de là, par le chemin de fer, pourra se rendre rapidement soit au Champ de Mars, soit au Trocadéro.

Emplacement de l'exposition de la Société des Ingénieurs Civils.

Vous savez que notre Société a son exposition située à l'étage de la galerie annexe du palais des machines, qui fait le coin de l'avenue de Suffren et de l'avenue de La Motte-Piquet, à proximité, précisément même, de la gare terminus; nous pourrons donc, de l'entrée de l'Esplanade des Invalides, nous rendre en quelques minutes à notre salle de réunion, de rendez-vous avec nos collègues étrangers, ce qui nous permettra de consacrer plus de temps à chacune de nos visites.

Cet emplacement de notre exposition, admirablement choisi, n'a pas été obtenu sans quelques difficultés. Nous l'avons eu, grâce aux démarches d'un de nos collègues les plus dévoués, qui est toujours là, infatigable, éloquent, quand il s'agit des intérêts de la Société, de ceux des Ingénieurs Civils, de ceux notamment qui sortent de l'École Centrale, comme il l'a prouvé encore récemment, avec un rare talent, au Sénat, lors de la discussion sur la loi militaire — j'ai nommé notre ancien Président, M. Reymond, et vous voudrez bien, je pense, vous joindre à moi pour lui renouveler ici tous nos remerciements. *(Très bien! Très bien! Applaudissements.)*

CHAMP DE MARS

C'est à la suite d'un grand concours dont les trois premiers prix ont été décernés à MM. Formigé, Dutert et Eiffel, que sous la haute et éminente direction de M. Alphand, le plan général des constructions du Champ de Mars a été définitivement arrêté. Jamais dispositions d'ensemble n'ont été plus habilement conçues, n'ont revêtu un tel caractère de grandeur! On est en présence de véritables et vastes palais d'une grande richesse artistique, entourant un parc merveilleux dessiné avec ce talent dont, seul, M. Alphand a le secret. *(Bravo! Bravo! Applaudissements.)*

Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux. — Expositions diverses. — Palais des Machines.

En regardant le Champ de Mars, de la Tour, on a : à gauche le

palais des Beaux-Arts, à droite celui des Arts libéraux, deux palais de construction d'ensemble identique dont les fermes ont 50 *m* de portée et ayant chacun 230 *m* de longueur sur 80 *m* de largeur.

Au milieu de chacun d'eux s'élève une coupole de 54 *m* de hauteur, rappelant quelque peu les coupoles des Persans, émaillées de tons blancs, bleu turquoise, jaune et or.

Les entrées d'honneur placées au centre donnant sur le parc se composent de trois arcades plein cintre. Chaque arcade est entourée d'archivoltes en terre cuite et de médaillons à fond d'émail dans les tympans; les piédroits sont ornés du côté des Beaux-Arts par des arabesques où brille encore la palette du faïencier, et du côté des Arts libéraux, de trophées en terre cuite qui montrent, par leurs dimensions et les difficultés vaincues, tous les progrès faits de nos jours dans l'art « de la terre ».

L'ordonnance des palais se poursuit à droite et à gauche avec une décoration formée d'une triple ceinture de terre cuite, comprenant une balustrade au premier étage, une frise à fond d'or sous la corniche, et une seconde balustrade à hauteur du comble. Chaque pilier en fer est revêtu de panneaux en terre cuite; un grand écusson émaillé lui sert de chapiteau et son couronnement en fonte sert de base aux mâts qui, sous peu de jours, seront ornés de bannières aux couleurs de France, alternant avec les couleurs étrangères dont l'ensemble rappellera le caractère international de l'Exposition.

Les palais se terminent du côté de la Seine par des pavillons surmontés chacun d'une coupole sur plan carré dont les colorations rappellent la partie centrale.

De l'autre côté, à la suite de chacun des palais, deux grands vestibules: le vestibule de l'avenue Rapp et le vestibule Desaix.

Après, s'étendant en fer à cheval, la construction des Expositions diverses qui occupe à elle seule une surface de 107 985 m^2.

Cette construction se compose d'un vaste ensemble de galeries, ayant pour grand motif central d'entrée dans l'axe du Champ de Mars, un dôme monumental de 60 *m* de hauteur, dont l'ossature métallique, en grande partie apparente, est complétée par des sculptures allégoriques et par des décorations artistement colorées.

De la Tour, formant avec ses grands arceaux la plus grande entrée triomphale qu'il était possible d'imaginer, on voit se découper en face ce dôme central, et de chaque côté les dômes des palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux où ils s'encadrent merveilleusement. Il y a là un effet d'ensemble imposant, et, au grand éton-

nement de beaucoup de personnes des plus compétentes, la Tour n'écrase rien, chaque monument conserve son échelle, tout se tient et s'harmonise admirablement. *(Très bien! Très bien!)*

A droite et à gauche du dôme central des Expositions diverses, des galeries à jour entourent le parc, sous lesquelles sont installés des cafés et restaurants, avec un promenoir en avant formant un portique surmonté d'une grande frise du plus gracieux effet, brillamment décorée d'écussons et d'inscriptions.

En arrière du dôme, une galerie de 30 *m* de largeur, traversant en quelque sorte les galeries des expositions diverses, aboutit, par un grand vestibule, au palais des machines.

Ce palais, avec ses galeries annexes, a 420 *m* de longueur et 145 *m* de largeur; il est parallèle à l'École Militaire et occupe toute la dernière partie du Champ de Mars.

Par ses dimensions exceptionnelles, par ses fermes hardies et élancées de 115 *m* de portée et atteignant au sommet une hauteur de 45 *m*, qui vous ont été décrites, dans une de vos séances de l'année dernière, par l'Ingénieur en chef lui-même, qui les a étudiées et calculées, notre savant collègue M. Contamin *(applaudissements)*, ce palais constitue un monument unique dans l'univers; il fait le plus grand honneur à notre industrie nationale et contribuera certainement au grand succès de l'Exposition. *(Bravo! Bravo!)*

Ce palais devait être, à l'origine, sur toute sa longueur, isolé des expositions diverses par un jardin d'une trentaine de mètres de largeur; je ne sais s'il a eu le don attractif; mais en dernier lieu, les exposants du groupe VI sont venus si nombreux qu'ils ont demandé une surface de plus du double de celle que l'on pouvait mettre à leur disposition : 77 000 m^2, et on ne pouvait leur offrir que 34 000 m^2. Pour tâcher de donner satisfaction dans la mesure du possible, il a fallu sacrifier toute la partie du jardin d'isolement comprise entre la galerie de 30 *m* et l'avenue de Suffren, et faire une nouvelle galerie spécialement destinée à la classe 61 (matériel des chemins de fer).

Les palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux, les vestibules Rapp et Desaix, le bâtiment des Expositions diverses et le palais des machines couvrent une surface totale de 219 200 m^2. A l'Exposition de 1867, il n'y avait que 153 000 *m* superficiels couverts au Champ de Mars.

Dans le palais des Beaux-Arts, l'art français occupe toute la partie comprise entre le dôme et l'extrémité, côté de la Seine;

toute l'autre moitié, ainsi qu'une partie du vestibule Rapp, est destinée aux œuvres des artistes étrangers.

Dans le palais des Arts libéraux sont toutes les expositions qui correspondent au groupe II : éducation, enseignement, matériel et procédés des arts libéraux.

La partie centrale est occupée par l'exposition rétrospective du travail et des sciences anthropologiques qui se divise en quatre sections : celles de l'anthropologie et de l'ethnographie installées dans la première partie du palais, côté du vestibule Desaix, et celles des arts et métiers et des moyens de transport dans l'autre moitié.

Je ne saurais vous citer toutes les curiosités que comportera cette exposition rétrospective du travail : il y aura une fabrication d'émaux cloisonnés de Chine ; il y aura des reconstitutions d'observatoires chinois et hindou, des anciens cabinets de physique, de chimie et d'alchimie, et notamment du laboratoire de Lavoisier. L'exposition sera des plus complètes et des plus intéressantes.

Sous le dôme, il y aura, entre autres choses, l'exposition des théâtres comprenant une série de maquettes, de décors, de costumes et de masques.

Au rez-de-chaussée de la galerie, côté Seine, l'enseignement professionnel ; à l'étage, la papeterie et la reliure.

Au rez-de-chaussée de la galerie longitudinale, côté avenue de Suffren, dans la première partie du palais, les instruments de précision, la médecine, la chirurgie ; au-dessus, l'imprimerie, la librairie et le dessin. Dans la seconde partie, au rez-de-chaussée de cette même galerie, les expositions de la Suisse, de la Belgique et des Pays-Bas, se rapportant aux arts libéraux ; au-dessus, à l'étage, la photographie.

Dans l'autre galerie parallèle se trouvent des restaurants et cafés donnant sur le parc et, à l'étage, tout ce qui se rapporte à l'enseignement primaire, secondaire et supérieur.

Le vestibule Desaix contiendra dans sa partie centrale les instruments de musique.

Pour les expositions diverses, on a conservé la classification des classes par groupes, et chaque classe a été placée dans une seule et même galerie, ce qui facilite beaucoup les recherches des visiteurs.

Le groupe III, afférent au mobilier et accessoires, se trouve renfermé dans la presque totalité du côté droit du palais des expositions diverses, c'est-à-dire du côté avenue de Suffren.

Le groupe IV « tissus, vêtements et accessoires » et le groupe V, « industries extractives, produits bruts et ouvrés » ainsi que la classe 60 (carrosserie et charronnage) occupent tout l'autre côté du palais, côté avenue La Bourdonnais.

Le palais des machines n'a pu contenir, malgré sa surface considérable, les dix-neuf classes qui font partie du groupe VI : « outillage et procédés des industries mécaniques » ; cinq ont dû être installées dans d'autres constructions : la classe 60 dont je viens de parler, la classe 49 (agriculture), la classe 64 (hygiène et assistance publique), la classe 65 (matériel de navigation et de sauvetage) et la classe 66 (matériel et procédés de l'art militaire).

La surface totale mise à la disposition des différentes sections étrangères est supérieure à celle qu'elles occupaient à l'Exposition de 1878.

Dans l'enceinte même des divers palais elle est de 88 000 m^2, et pour satisfaire aux nombreuses demandes il a fallu autoriser plusieurs nations à construire dans les jardins des pavillons spéciaux. L'exposition des États-Unis, entre autres, occupe à elle seule une surface de plus de 8 000 m^2 dont près du tiers sera occupé spécialement par celle du célèbre inventeur Edison qui s'annonce comme devant être remarquable et pleine de surprises.

Installations mécaniques.

Les installations mécaniques étudiées et conduites par notre collègue M. Vigreux, dont la réputation n'est plus à faire et son collaborateur, notre collègue aussi, M. Ch. Bourdon, ont une importance sans précédent ; pour en donner une idée, il me semble qu'il suffit de comparer les chiffres suivants :

A l'Exposition de 1855, la première où il fut donné de voir des machines en mouvement, la force motrice était de 350 chevaux ; à l'Exposition de 1867, elle était de 635 chevaux ; à l'Exposition de 1878, de 2 500, et à l'Exposition de 1889, la puissance que les machines seront susceptibles de développer sera d'environ 5 500 chevaux-vapeur.

Presque tous les générateurs à vapeur sont situés dans l'espace découvert compris entre le palais des machines et l'avenue de La Motte-Piquet ; ils occupent une surface totale de 1 600 m^2, et ils doivent fournir une quantité minima de vapeur de 49 600 *kg* par heure.

Les machines motrices sont au nombre de trente-deux appar-

nant presque toutes aux types Corliss et Sulzer, pour la plupart Compound ; vingt-huit d'entre elles sont destinées à actionner les quatre lignes d'arbres de transmission régnant d'un bout à l'autre de la grande nef du palais des machines, et ayant une longueur totale de 1 359,56 *m.*

Ces quatre lignes d'arbres formant deux groupes dont les deux transmissions sont à une distance l'une de l'autre de 18 *m*, sont supportées par des chaises pendantes en fonte fixées à des poutres en treillis qui relient les supports.

Sur ces poutres en treillis circulent, mus par l'électricité, deux ponts roulants qui contribuent au service de la manutention et qui, pendant la durée de l'Exposition, serviront au transport des visiteurs. C'est là une application ingénieuse de la transmission de la force à distance qui ne manquera pas certainement d'avoir un grand succès auprès des nombreux visiteurs, qui pourront ainsi, sans fatigue, planant au-dessus de toutes les machines, se rendre d'une extrémité à l'autre de ce palais immense, dont il faut souhaiter ardemment la conservation après l'Exposition. *(Assentiment.)*

En outre des vastes monuments et palais dont je viens de vous dire quelques mots, il existe, au Champ de Mars, un très grand nombre de constructions spéciales qui sont groupées avec méthode et qui par la variété de leur architecture et des expositions toutes particulières qu'elles renferment, constitueront certainement aussi une des parties les plus intéressantes et attrayantes de l'Exposition universelle de 1889.

Histoire de l'habitation.

En avant de la Tour, de chaque côté du pont d'Iéna et parallèlement au quai, depuis l'avenue de La Bourdonnais jusqu'à l'avenue de Suffren se trouve l'histoire de l'habitation faite de main de maître par M. Charles Garnier, architecte-conseil de l'Exposition ; c'est une série d'habitations rappelant les phases principales de la construction depuis les temps les plus primitifs jusqu'à nos jours ; chacune habitée et garnie à l'intérieur des types de mobilier de son époque, sauf toutefois, et pour cause, pour les habitations de l'époque préhistorique !

Après les abris sous roches, les troglodites, les cabanes de l'époque du renne, de la pierre polie, de l'âge du bronze et de l'époque du fer, les habitations lacustres, viennent :

L'habitation égyptienne occupée par des Égyptiens qui vendront

au public de nombreuses curiosités provenant des fouilles pour le musée de Boulac; il est même question d'y exposer deux momies royales... authentiques;

Les constructions de l'Assyrie, de la Phénicie, des Hébreux; dans cette dernière, il y aura une collection d'antiquités hébraïques disposées dans un intérieur des plus pittoresques;

La maison étrusque, hôtellerie antique, meublée dans le caractère du temps, avec ses lits, tables, tabourets, vases, amphores, etc. L'hôtelier sera autorisé à donner une nourriture moins étrusque que son mobilier. *(Rires !)*

L'habitation indoue meublée avec les produits si riches et si variés de l'Inde, particulièrement avec ceux de Cachemire ;

La maison persane, reproduction très fidèle des constructions les plus anciennes de la Perse, devant laquelle il y aura un café persan avec ses musiciens et ses chanteurs authentiques;

La maison grecque, qui, au point de vue archéologique, est peut-être la plus remarquable de l'histoire de l'habitation;

La maison romaine, dans laquelle sera installée une verrerie avec ses souffleurs en costume;

La maison scandinave, intérieur de pêcheurs de Norwège, qui ont déjà expédié leur bateau dont la forme diffère peu de celle des bateaux scandinaves que virent, il y a plusieurs siècles, les habitants de l'Ile-de-France;

La maison moyen âge dans laquelle sera le salon d'honneur de M. le Président de la République.

Ensuite:

La construction byzantine, très originale par son style, contiendra de très intéressantes collections de produits de la Slavonie et une exposition des Slaves du Sud, installée dans un intérieur semblable à ceux que l'on admirait à l'Exposition de Pesth en 1885;

Le petit pavillon slave dans lequel sera installée une distillerie d'essence de roses de la célèbre vallée de Késanlik;

Le pavillon de la Bulgarie habité par des paysans bulgares;

Le pavillon Russe, habité aussi par des paysans qui fabriqueront sous les yeux du public ces objets en bois si répandus en Russie.

Enfin les pavillons du Soudan, de la Chine et du Japon, le premier contenant des collections provenant du Congo; les deux autres représentant des intérieurs chinois et japonais d'une parfaite exactitude.

Chaque habitation sera entourée de jardins en rapport avec son caractère et ne comportant que des plantes originaires du pays.

L'esprit inventif de M. Laforcade, le collaborateur de M. Alphand, pour tout ce qui concerne les parcs et jardins, a réalisé des merveilles.

Les premiers abris humains sont au milieu d'une nature sauvage: quelques ronces, aloës, yucca, poussent seulement dans les fissures et crevasses des rochers. Près des constructions de l'Assyrie, de la Phénicie et des Hébreux, s'élèvent des saules de Babylone, des arbres de Judée et des cèdres du Liban.

Au milieu de la plaine aride où se trouvent les Pélasges et les Étrusques, poussent des tamaris et virgiliers.

Près des habitations gauloises, le superbe chêne.

L'habitation grecque est entourée de lauriers d'Apollon.

Puis, la construction italienne avec ses myrtes, ses grenadiers, ses orangers et mimosas; le pavillon de la Renaissance avec ses murailles tapissées de roses, capucines, clématites et chèvrefeuilles odorants; la Chine avec son jardin aux allées multiples et contournées, planté de chamœrops, de bambous, de thés, d'azalées, etc.; le pavillon japonais au milieu des aucubas, des fusains, des hortensias, cydonias et d'autres arbustes aux fleurs éclatantes; les constructions de l'Amérique, Incas et Astèques, avec leur datura arborescent, leurs soleils, leurs héliotropes et aloës.

Enfin, messieurs, que vous dirai-je? l'histoire de l'habitation intéressera autant l'artiste que l'ingénieur et l'architecte! *(Applaudissements.)*

Constructions situées dans le jardin à droite de la Tour.

Si, après avoir parcouru l'histoire de l'habitation, on entre dans le jardin situé entre la Tour et l'avenue de Suffren, on voit entre autres constructions :

Le bâtiment de la Compagnie de Suez ;

Le pavillon du Brésil auquel est annexée une magnifique serre pour l'exposition des plantes de l'Amérique du Sud;

Le pavillon de la République Argentine ;

Le bâtiment mexicain dont toute la construction, après l'Exposition, sera transportée au Mexique et dans laquelle doit être installé un musée archéologique.

Le portique d'entrée a pour couronnement le symbole du Soleil présidant à la création de Cipactli représentant la force fertilisante de la Terre. — Dans les deux pavillons situés à droite et à gauche, des groupes mythologiques et de nombreuses sculptures rappelant

l'ancienne histoire mexicaine. Les Mexicains ont commencé par faire chez eux une exposition nationale, et ont choisi tout ce qu'il y avait de plus remarquable dans cette exposition pour l'envoyer à Paris. Ils ont dépensé plus d'un million rien que pour leur bâtiment de l'Exposition, et, détail intéressant à noter, ils ont mis au concours une cantate glorifiant un des grands faits de la France, et ils ont voulu que ce concours eût lieu au théâtre de Mexico l'année dernière, le 14 juillet, parce que cette date est celle de notre grande fête nationale. *(Bravo! Bravo! Applaudissements.)*

Après le bâtiment mexicain, viennent :

Les pavillons de Venezuela, de la République de l'Équateur et du Chili;

L'exposition de la Bolivie, importante construction comportant un dôme de 12 *m* de diamètre ; on y verra une magnifique collection d'échantillons des minerais dont abonde le sol de la Bolivie, la reproduction d'une galerie en exploitation de plomb argentifère ; une volière peuplée de ces milliers d'oiseaux aux couleurs si vives qui habitent les forêts du haut Pérou ;

Le palais des Enfants, destiné non seulement à servir d'exposition pour les jouets, mais aussi à renfermer tous les divertissements qu'il est possible d'offrir à l'enfance ; il y aura même au milieu de la salle un véritable théâtre, mais qui, le soir, à l'heure où dort la toute jeunesse, donnera des représentations qui ne seront pas seulement enfantines.

L'architecture est en harmonie avec la destination du monument ; la façade est couronnée de deux tourelles où figurent des soldats, des chevaux en bois et des moulins à vent.

Sur la terrasse du Palais des Arts libéraux, côté Seine, s'élèvent le pavillon du Lota, celui de l'État de Nicaragua et celui de l'État de San Salvador.

Constructions le long de l'avenue de Suffren.

En remontant ensuite jusqu'à l'extrémité du Champ de Mars, toute la partie comprise entre le Palais de l'Exposition et l'avenue de Suffren, on passe devant la construction métallique de MM. Villard et Cotard, qui a la forme d'un hémisphère.

Ce dôme renferme un des monuments le plus curieux de notre siècle : un globe terrestre au millionième, ayant par consequent 12,75 *m* de diamètre et mesurant 40 mètres de circonférence ; un

mécanisme d'horlogerie le fait tourner sur son axe, et des escaliers permettent d'en examiner toutes les parties.

Pour la première fois, on pourra voir sur une même sphère tous les détails géographiques suffisamment indiqués avec leur véritable mesure. Paris occupe à peu près un centimètre ; — on verra toutes les voies de communication maritimes et terrestres dont notre globe s'est couvert depuis 1789.

C'est une œuvre véritablement scientifique, patronnée par tous nos plus grands géographes, et qui fait le plus grand honneur à MM. Villard et Cotard, ainsi qu'à notre collègue M. Seyrig, qui, sous leur direction, a conduit les études et les travaux. *(Applaudissements.)*

Puis, viennent : le pavillon de la République de l'Uruguay, les bâtiments de la République Dominicaine, du Paraguay, de Guatémala, de la République d'Haïti ;

Le pavillon indien, dont la charpente est arrivée d'Angleterre toute taillée, prête à être mise en place, comprenant vingt boutiques occupées uniquement par des exposants indiens, et où seront réunis tous les plus beaux produits de l'Orient ;

L'exposition de la République de Saint-Marin ;

Le pavillon chinois ;

Le pavillon indien ;

Le restaurant roumain ;

Le bâtiment du Maroc ;

Et enfin l'exposition égyptienne, qui occupe une superficie de plus de 3 000 m^2, et qui certainement excitera la curiosité et l'admiration de la foule des visiteurs.

Cette importante exposition, due à M. le baron Delort de Gléon, commissaire général, et dont les travaux ont été exécutés par M. Gillet, architecte, comprend deux parties :

1° Le bazar égyptien, composé d'un grand nombre de boutiques, installées dans le palais des expositions diverses ;

2° La rue égyptienne, représentation exacte d'une rue du Caire, avec ses boutiques et cafés, ses maisons pittoresques, comportant aux étages supérieurs ces espèces de balcons si merveilleusement sculptés, connus sous le nom de moucharabies.

Cette rue sera habitée par plus de 200 Égyptiens. On y verra un superbe minaret, des boutiques de selliers, des fabricants de vitraux, des tisseurs de tapis d'Orient, des tourneurs sur bois, un grand café arabe avec musiciens, à l'entrée duquel est une tente d'une extrême richesse empruntée au palais du Khédive, etc., etc.

Puis, derrière les maisons, une écurie contenant cent petits ânes blancs qui, luxueusement harnachés, seront promenés, le jour, dans les allées du parc de l'Exposition par leurs ammars ou âniers.

Constructions situées dans le jardin, à gauche de la tour.

De l'autre côté, dans le jardin situé entre la Tour et l'avenue de La Bourdonnais, se trouvent :

Le bâtiment des manufactures de l'État;

Le pavillon de la maison Eiffel, contenant des modèles de tous les grands ouvrages construits par cette maison, entre autres, des réductions concernant le montage du viaduc de Garabit.

Un assez grand nombre d'Ingénieurs étrangers ont déjà fait savoir à des membres de votre Comité et à la réunion des chefs de service des chemins de fer français, dont je fais partie, qu'ils comptaient, cette année, aller dans le Cantal visiter le viaduc de Garabit.

Je ne puis, Messieurs, m'empêcher d'éprouver un certain sentiment de fierté nationale, en pensant que lorsqu'ils auront vu ce splendide ouvrage, lorsqu'ils auront vu la tour, la galerie des machines et tous nos grands travaux exécutés dans ces dernières années, nous aurons quelque droit de leur dire : « *Voilà les œuvres* » *de la France* ! ne sommes-nous pas des travailleurs, des amis » du progrès, de la concorde et de la paix ? » *(Bravo ! Bravo ! Applaudissements prolongés.)*

Après le pavillon de la maison Eiffel, le bâtiment de l'industrie du gaz. C'est une riche habitation moderne, style renaissance, d'une surface de 428 m^2 et comportant deux étages.

Cette exposition réunit toutes les applications du gaz. Dans le sous-sol sont placés les cuisines, la force motrice, tous les systèmes de chauffage domestique et industriel. Aux étages, dans les nombreuses pièces élégamment meublées, tous les appareils les plus variés et les plus perfectionnés pour le chauffage et l'éclairage. Une des salles du rez-de-chaussée est réservée à l'exposition rétrospective de l'art de l'éclairage.

Le Comité de patronage de cette importante exposition collective de l'industrie du gaz a pour président M. A. Ellisen, et pour vice-président M. E. Cornuault, deux de nos collègues.

Le bâtiment de la Société des téléphones, installé d'une façon remarquable et qui fait grand honneur aux administrateurs de cette Société et en particulier à notre collègue M. Berthon.

Au premier étage, le pavillon renferme un bureau central du

système multiple à double fil, destiné à desservir les abonnés au service spécial téléphonique de l'Exposition. A droite et à gauche, deux salles d'exposition affectées aux produits des importants ateliers de construction de la Société et des usines de MM. Weiller et Cie, d'Angoulême.

Au rez-de-chaussée, dans les ailes du pavillon, quatre salles d'auditions théâtrales, où le soir soixante personnes pourront entendre à la fois l'opéra ou l'opéra-comique.

Le chalet suédois, le chalet norvégien, le pavillon de M. Brault tout en céramique ;

Le bâtiment Kœffer;

La taillerie de diamants de MM. Boos frères, bâtiment construit d'après le type des constructions hollandaises du seizième siècle.

Le restaurant Kuhn, le pavillon Humphreys;

Puis, une construction d'apparence assez originale, où l'on exposera un peu de la bonne gaîté française dont les étrangers sont si friands, — le théâtre des Folies-Parisiennes!

Toute la partie de ce théâtre comprenant la scène et les services administratifs, construite par M. de Schryver, est complètement en acier depuis les fondations jusqu'à la couverture comprise; c'est le théâtre incombustible par excellence.

Les murs, les cloisons, les planchers sont tous formés au moyen de panneaux en tôle mince d'acier de 1 *mm* d'épaisseur, auxquels un emboutissage convenable a donné le maximum de résistance. Les deux parois d'un même mur, distantes de 0,16 *m*, constituées par ces tôles, sont réunies entre elles au moyen de larges plats boulonnés sur les bords supérieurs de chacun des panneaux, percés d'ouvertures qui permettent une circulation facile de l'air de ventilation.

C'est le type d'une maison entièrement en acier qui par sa légèreté, la rapidité du montage, les conditions hygiéniques qu'elle présente, peut, dans certains cas, être avantageusement appliqué.

Après le théâtre des Folies-Parisiennes :

Le pavillon de M. Toché, destiné à une exposition de fresques;

Le pavillon Finlandais; tout en bois, expédié directement d'Helsingfors, qui renfermera des collections intéressantes d'ustensiles et équipements de chasse en peau d'ours, des traîneaux, bateaux, etc., et de magnifiques échantillons de ce granit de Finlande qui, avec son feldspath d'un bleu aux reflets d'opale, est l'un des plus beaux granits que l'on connaisse.

La maison Russe.

Le pavillon céramique de M. Perusson.

La construction de M. Daval, composée de six colonnes d'ordre dorique, restaurée en ciment métallique.

Le pavillon des marbreries et ardoisières de Laruns et Gère-Belestin.

Le pavillon de Monaco.

Constructions le long de l'avenue de La Bourdonnais.

Sur la terrasse du palais des Beaux-Arts, côté Seine, le pavillon des pastellistes français et le pavillon de la Société des aquarellistes.

Puis, en remontant le long de l'avenue de La Bourdonnais, on voit :

Le pavillon de la Presse ;

La construction de la Compagnie des Forges-Nord dans laquelle il serait question de faire des expériences de soudure par l'électricité ;

Le pavillon d'exposition des broderies anciennes, surmonté d'un dôme décoré à l'aide de boiseries habilement découpées ;

Les écuries de MM. Milinaire frères, spécimen intéressant d'une écurie modèle ;

Le pavillon de la Société des Charbonnages de Mariemont et de Bascoup ;

La construction de MM. Solvay et Cie dont la façade est toute en granit belge ;

La Colonie du Cap, mines de diamants de Kimberley ; on assistera à toute la série des opérations par lesquelles passe le diamant depuis l'extraction de la mine jusqu'à sa livraison au joaillier ;

Le bâtiment de la Compagnie des forges de l'Horme ;

Le pavillon de la Société des anciens établissements Cail ;

Le pavillon Royaux ;

Le pavillon Lacour

L'Union céramique Chaufournière ;

L'Exposition de Montchanin ;

Le bâtiment des forges de la Société de Saint-Denis ; le pavillon Goldenberg, et la construction de la Compagnie générale des Asphaltes ;

Parc et Jardins.

Après avoir jeté un coup d'œil sur ces nombreuses constructions qui demanderont plusieurs journées pour être connues, toutes,

dans leurs détails, il me reste à vous parler, en ce qui concerne le Champ de Mars, du parc, de l'éclairage électrique et des autres principales constructions établies sur la berge de la rive gauche de la Seine.

Le parç comprend deux parties: le jardin central, qui, en contre-bas de 2 *m* des terrasses des palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux, a une étendue d'environ 5 *ha*, et le jardin haut, d'une surface de plus de 3 *ha*, comprenant les deux pavillons de la Ville de Paris, et qui occupe tout l'espace compris entre les trois façades des expositions diverses.

Le cube total des terrassements exécutés pour niveler le Champ de Mars et faire les jardins a été de plus de 200 000 m^3.

La longueur des galeries souterraines construites est de 700 *m*.

La longueur totale des égouts de 3 500 *m*, celle de la canalisation du gaz de 3 000 *m*, et celle de toutes les conduites d'eau de l'Exposition de près de 15 *km*.

M. Laforcade, le jardinier en chef de la Ville de Paris, a fait transporter dans le Champ de Mars plus de quatre cents variétés d'arbres forestiers et d'ornement, et environ sept cents variétés d'arbustes à feuilles caduques ou persistantes.

Tout le long des terrasses seront rangés de magnifiques palmiers exposés par MM. Besson frères, de Nice.

Dans le parc se trouveront les essences les plus rares et les plus variées, et tout est combiné de façon que pendant toute la durée de l'Exposition on ait des fleurs à profusion.

J'ajouterai que des velums aux riches couleurs seront installés au-dessus des allées principales situées à droite et à gauche des tapis de verdure de 40 *m* de largeur qui entourent les fontaines et les bassins.

Les visiteurs pourront ainsi, à l'abri des rayons du soleil, traverser dans toute sa longueur le parc, qui, lui aussi, sera une des merveilles de notre Exposition.

Éclairage électrique.

La science électrique qui, depuis 1878, date de notre dernière Exposition universelle, a progressé à pas de géant, doit naturellement jouer un grand rôle dans notre grande Exposition.

Les portes de l'Exposition resteront ouvertes le soir, et les parties qui seront éclairées à la lumière électrique seront :

1° Le palais des machines ;

2° La galerie de 30 *m* qui conduit du parc à ce palais;

3° Les terrasses des galeries des expositions diverses et celles des palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux;

4° Le palais des produits alimentaires dont nous parlerons plus loin;

5° Le parc et les fontaines.

La surface totale sera de 300 000 m^2, et il y aura au moins 1 150 lampes à arc, et 10 000 lampes à incandescence représentant en tout plus de 180 000 becs Carcel.

Dans la grande nef du palais des machines il y aura 86 lampes à arc de 25 ampères et 6 lampes de 60 ampères suspendues aux grandes fermes de 115 *m* de portée; dans les galeries annexes 188 foyers et 730 lampes à incandescence réparties aux abords des escaliers donnant accès au premier étage de ces galeries.

En tout, on peut estimer à 90 000 becs Carcel la quantité de lumière qui sera répandue dans le palais des machines, ce qui, pour la surface entière, représente près de 1 bec Carcel par mètre carré.

On comprend par ces chiffres l'aspect féerique que présentera sous ces flots de lumière, cette gigantesque galerie en pleine activité de travail.

Le jardin central, avec ses pelouses et ses massifs d'arbres, les escaliers et balustrades placés devant les palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux, ainsi que les façades de ces deux palais seront brillamment éclairés par 120 foyers de 100 Carcel et plus de 6 000 lampes à incandescence de 10 bougies.

Fontaines lumineuses.

Mais ce qui, incontestablement, aura le plus d'originalité et de succès, ce seront les fontaines lumineuses.

La fontaine monumentale, l'œuvre de M. Coutan, qui occupe le centre du parc, représente « la France environnée de la Science, » de l'Industrie, de l'Agriculture, de l'Art, éclairant le monde de » son flambeau ». Du motif central, 4 jets d'eau à grand débit; autour, 8 groupes avec 10 jets jaillissant de cornes d'abondance; la masse d'eau retombe en cascade dans une rivière d'où partent, près de chaque rive, d'autres jets, et aboutit dans un grand bassin comportant 17 groupes de jets d'eau.

Toutes ces gerbes projetant environ 500 litres d'eau par seconde, seront illuminées de couleurs différentes par la lumière électrique.

Ce seront de véritables pluies d'or, d'argent et d'émeraude qui se refléteront dans les cascades et les eaux des bassins.

Ces effets lumineux sont obtenus de la manière suivante :

Au-dessous de chaque bassin existent des chambres souterraines circulaires, solidement construites en béton Coignet; leur plafond s'ouvre pour donner passage à une série de cheminées verticales placées chacune au-dessous des gerbes d'eau, se terminant par une glace formant en ce point le fond même du bassin.

Dans chaque chambre est installée une lampe à arc électrique à grande intensité dont toute la lumière est envoyée horizontalement par un réflecteur parabolique sous la cheminée de la chambre; là, un miroir incliné à 45° renvoie verticalement, de bas en haut, le faisceau lumineux qui, après avoir traversé une lame colorée et la glace qui termine la cheminée, vient illuminer toute la gerbe d'eau, en rouge, vert, bleu, etc., suivant que la lame colorée que l'on a glissée est rouge, verte ou bleue, etc.

On obtient ainsi des effets tout à fait magiques et il se passe un phénomène intéressant à constater, c'est que l'eau en mouvement absorbe complètement la lumière électrique et il n'y a, par suite, que les jets et les gouttelettes d'eau qui tombent qui soient colorés.

Chaque lampe à arc destinée à l'illumination des jets d'eau sera de 500 à 1 000 becs Carcel.

Pour arriver à éclairer les jets paraboliques qui s'échappent des cornes d'abondance, il a fallu disposer plusieurs miroirs, de façon que la lumière électrique suive la trajectoire de l'eau ; dans ce cas, l'eau passe entre deux tuyaux concentriques, et c'est dans l'intérieur du plus petit que la lumière électrique est projetée.

De telles fontaines lumineuses ont déjà été exécutées avec succès en Angleterre, à Glascow et à Londres, et aussi en Espagne, à Barcelone ; mais celles de l'Exposition de 1889, installées sous l'habile direction de M. Bechmann, ingénieur en chef du service des eaux de la Ville de Paris et par la maison anglaise Gallovay, auront, par suite de nombreux perfectionnements apportés, par la masse d'eau mise en mouvement, l'intensité de la lumière, une importance tout à fait exceptionnelle.

La grande fontaine placée sous la tour Eiffel, érigée et sculptée par M. de Saint-Vidal, sera éclairée par quatre lampes à arc de 350 becs Carcel chacune.

Tout cet éclairage du Champ de Mars sera assuré par trois groupes de stations centrales, offrant un ensemble complet des divers systèmes de distribution de force électrique : le premier dans le

jardin d'isolement (côté de l'avenue de La Bourdonnais), compris entre le palais des machines et les expositions diverses; le deuxième sur la berge de la Seine en aval du pont d'Iéna, et le troisième le long de l'avenue de La Bourdonnais, à côté du pavillon de la Presse.

Constructions sur la berge de la rive gauche de la Seine.

Si du Champ de Mars nous nous rendons au Trocadéro, nous apercevons, en passant sur la berge de la rive gauche de la Seine, entre autres constructions :

L'exposition de l'industrie du pétrole, conçue et organisée par notre collègue M. H. Deutsch. Dans un des énormes réservoirs, en fer de 18 *m* de diamètre et de 8 *m* de hauteur que cette industrie utilise, est installé un panorama représentant les principaux gisements pétrolifères d'Amérique et de Russie. — Ce réservoir contiendra, en outre, tous les documents concernant l'exploitation, le raffinage et le transport des pétroles. A côté, une galerie vitrée, et un pavillon spécial dans lesquels figureront les industries de l'éclairage, du chauffage et de la force motrice par les huiles et essences minérales

Le bâtiment de l'ostréiculture et de la pisciculture ;

Le bâtiment des Chambres de commerce maritime ;

Le grand panorama de la Compagnie transatlantique. — Là, le spectateur se trouve en rade du Havre, sur le pont de *la Touraine*, nouveau bâtiment transatlantique, actuellement en construction, qui aura 160 *m* de longueur et 11 000 chevaux-vapeur de force. Le spectateur voit au loin la pleine mer, et autour de lui les plus grands paquebots de la Compagnie : *la Normandie, la Gascogne, la Bourgogne* et *la Bretagne*. L'illusion est complète et d'un grand effet. Ce spectacle attrayant montrera les progrès immenses que la Compagnie a réalisés depuis dix ans dans la construction, l'aménagement et le confort de ses superbes paquebots, et qu'elle possède aujourd'hui une flotte de navires transatlantiques de premier ordre.

Le palais des produits alimentaires, immense construction qui, comme je l'ai dit plus haut, sera éclairée le soir à la lumière électrique et desservie spécialement par le chemin de fer intérieur. Il se compose, dans son ensemble, de deux galeries superposées : l'une sur la berge, qui a l'aspect d'un chai et où sont groupés tous les échantillons de notre production vinicole, de notre industrie des liquides ; l'autre, au niveau du quai, où seront exposés les produits : conserves, pâtisseries, etc.

TROCADÉRO

Le parc du Trocadéro, avec son palais vu du Champ de Mars, dont il est en quelque sorte la continuation, forme, sous les immenses arceaux de la tour, un fond de tableau des plus décoratifs.

Il est destiné principalement à l'exposition d'horticulture, c'est-à-dire à tout ce qui se rapporte au groupe IX. Cette exposition occupe une surface de 40 000 m^2.

Indépendamment des riches collections d'arbres, d'arbustes, de fleurs, établies en plein air, il y a vingt-cinq serres plus élégantes les unes que les autres, quatorze pavillons et kiosques et deux grandes tentes qui seront prochainement installées, sous lesquelles seront les expositions des fruits.

Comme constructions offrant un intérêt tout spécial, je citerai :

Un abri mexicain en maïs où l'on vendra tous les produits alimentaires tirés du maïs;

Le pavillon du gouvernement de Victoria;

Le pavillon des travaux publics,

Et le bâtiment des forêts. On se rappelle que l'exposition de l'Administration des Forêts en 1878, eut un grand succès ; celle de 1889 s'annonce comme devant lui être supérieure. Toutes les essences qui croissent dans les forêts de France figurent dans la construction même du bâtiment qui a exigé près de 1 500 m^3 de bois. La façade est entièrement formée de panneaux constitués par la juxtaposition et l'assemblage de bois de formes et de couleurs diverses. Les colonnes intérieures et extérieures sont constituées par des arbres séculaires, non écorcés.

La galerie principale de 43 *m* de longueur sur 16 *m* de largeur contiendra la plus belle collection d'échantillons de bois que l'on ait jamais réunie, et qui depuis plusieurs mois est en préparation à l'Hôtel des Invalides. Dans une salle annexe à cette galerie sera placée l'exposition spéciale des travaux de reboisement présentée sous la forme de trois vues dioramiques des Alpes.

QUAI D'ORSAY

Section des produits et appareils agricoles.

Je traverse rapidement si vous le voulez bien, les galeries de l'agriculture situées sur le quai d'Orsay et qui sont divisées en

deux grandes sections: la première depuis l'avenue de La Bourdonnais jusqu'à la rue Malar, couvrant une surface de 15 984 m^2 et comprenant les produits et appareils agricoles français; la seconde concernant les expositions étrangères, d'une superficie couverte de 9 577 m^2 et à la suite de laquelle s'élèvent diverses constructions parmi lesquelles nous remarquons une czarda hongroise, une boulangerie hollandaise, une laiterie anglaise, une beurrerie suédoise, etc...

ESPLANADE DES INVALIDES

Et j'arrive à l'Esplanade des Invalides.

Une large avenue centrale règne dans toute la longueur: à droite, en entrant du côté du quai, se trouvent les Ministères, l'Exposition de l'hygiène, l'Exposition d'économie sociale et l'Exposition de secours aux blessés; à gauche, les colonies françaises et les expositions des pays de protectorat.

Le Pavillon des Postes et des Télégraphes.

L'Exposition des Poudres et des Salpêtres.

Le Pavillon de l'aérostation militaire.

L'Exposition du Ministère de la Guerre occupe un vaste emplacement. Le bâtiment principal d'une longueur de 150 *m* sur 22 *m* de largeur, avec ses trois portes monumentales et sa grande porte d'entrée moyen âge, crénelée, à pont-levis, flanquée de deux tours, présente un aspect imposant.

On y verra tout le matériel de guerre, sauf celui qu'il y a intérêt à ne pas faire connaître au point de vue de la défense de notre pays, et toute une exposition rétrospective et artistique de l'art militaire.

Dans une des salles, l'artillerie sera représentée par d'admirables modèles réduits de toutes les machines de guerre employées jusqu'à nos jours ; dans une autre sera l'histoire d'un siège à toutes les époques; dans une troisième, on verra la plus belle collection qui ait été encore faite, concernant les portraits, les armes, épées, etc., de nos illustres capitaines et célèbres généraux.

L'Exposition de l'Union des Femmes de France; type d'un hôpital démontable, portatif.

L'Exposition de l'Association des Dames françaises.

L'Exposition de l'hygiène comprend quatre parties distinctes:

1° Le palais de l'hygiène de l'habitation; construction habilement aménagée, formée par trois grandes coupoles de 20 *m* de hauteur et de 10 *m* de diamètre auxquelles fait suite une galerie de 30 *m*;

2° Le bâtiment de l'Assistance publique situé tout à proximité, renfermera une exposition du matériel et des appareils employés dans les divers établissements de l'assistance : hôpitaux, maisons de santé, asiles, etc.

3° Le pavillon des eaux minérales ;

4° Le pavillon Geneste et Herscher ;

Ce pavillon, sous le titre général d'applications du génie sanitaire, réunit quatre grandes subdivisions : la ventilation, le chauffage, l'assainissement, la désinfection.

Il contiendra notamment une collection de ventilateurs Ser, et dans une annexe spéciale, on verra la boulangerie militaire de campagne adoptée par l'armée française, ainsi que le matériel sanitaire de la guerre.

L'Exposition d'Économie sociale comprenant les meilleurs types de maisons ouvrières, un cercle d'ouvriers, un restaurant populaire, etc., et pour finir de ce côté de l'Esplanade des Invalides, la très intéressante exposition des secours aux blessés,

De l'autre côté de l'avenue centrale :

L'Algérie. — Un grand porche à quatre colonnes, comme il en existe à Alger, constitue l'entrée principale. A ce porche est adossé un minaret de 22 *m* de hauteur; après, une grande koubba abritant un vaste vestibule au milieu duquel est placée la statue de l'Algérie de M. Gauthier. Plus loin, une galerie contenant les divers produits d'Alger, d'Oran et de Constantine, et à gauche du minaret un bâtiment spécial pour les Beaux-Arts et les Arts libéraux de l'Algérie.

Au centre de l'Exposition, un grand jardin pour tous les spécimens de la flore africaine, avec de nombreux kiosques tenus par des indigènes vendant les produits de leur pays.

La Tunisie. — L'entrée du palais principal est un portique analogue à celui du palais beylical du Bardo : à gauche un pavillon à toit pyramidal quadrangulaire reproduisant le tombeau de Sidi-Ben-Arrouz à Tunis ; à droite un bâtiment à terrasse reproduisant le Souk-el-Bey. A l'intérieur une cour carrée ou patio, entourée d'une colonnade donnant accès dans les salles d'exposition.

A l'ombre de la coupole de la grande mosquée de Kairouan s'élève toute une série de maisons rappelant celles des oasis du Djerid, des boutiques et des souks voûtés de Tunis et des villes du Sahel. Sous les arbres, des restaurants, des cafés et des concerts

avec la musique et les danses tunisiennes, et une petite école modèle d'enfants arabes.

L'Exposition des Colonies. — Un immense palais central autour duquel se sont élevés de nombreux villages ; des villages néo-calédonien, alfourou, sénégalais, cochinchinois, etc.

Une reproduction de la tour de Saldé, au Sénégal, donnera une idée exacte de la disposition d'un poste fortifié. Les édifices religieux sont représentés par une pagode tonkinoise et par la pagode cambodgienne à laquelle on accède par l'allée des Sphinx. Le roi d'Angkor qui a édifié à ses frais cette pagode, compte l'habiter, avec une suite nombreuse, pendant son séjour parmi nous.

Au milieu de ces villages et pagodes dont le bon ordre sera assuré par des détachements de troupes tonkinoises, annamites et cinghalaises, sont installés de nombreuses boutiques et restaurants qui seront tenus et servis par des habitants mêmes de ces pays lointains, et dont un grand nombre sont déjà arrivés à Paris.

Un bâtiment spécial est réservé pour les produits de l'Annam et du Tonkin, au milieu duquel est placé un gigantesque Boudha.

Le pavillon de la Cochinchine est une reproduction d'un temple du désert des tombeaux. Il est construit entièrement en bois de save qui est aussi dur que le bois de teck.

Enfin, pour terminer ce qui concerne l'Esplanade des Invalides, le chemin de fer glissant dont M. Barre doit vous faire la description dans une de vos prochaines séances, et le panorama du Tout-Paris : au centre de ce panorama on est sur le refuge qui est devant le théâtre de l'Opéra; on voit nos boulevards par un beau jour d'été; toute la foule circule, mais ce ne sont que des figures connues, toutes les personnalités de l'Industrie, du Commerce, des Arts, des Lettres, etc.

Je termine, Messieurs, cet aperçu bien sommaire sur les dispositions et installations générales de l'Exposition universelle de 1889 qui, comme j'ai eu l'honneur de vous le dire en commençant, sera la plus belle qu'on ait faite jusqu'à présent, avec cet éclat artistique qu'aucun peuple ne peut répandre dans de telles proportions.

Je vous remercie pour votre bienveillante attention.

Après avoir nommé les trois éminents directeurs généraux : MM. Alphand, Berger et Grison ;

Après avoir nommé :

M. Contamin, Ingénieur en chef;

M. Pierron;

M. Vigreux, chef du service des installations mécaniques et électriques et M. Ch. Bourdon;

Les trois éminents architectes, dont les noms déjà si connus resteront attachés, à juste titre, à cette grande œuvre de l'Exposition:

M. Bouvard, architecte des Expositions diverses;

M. Dutert, architecte du Palais des machines;

M. Formigé, architecte du Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux;

M. Bechmann, Ingénieur en chef du service des eaux;

M. Lion, Ingénieur des terrassements et de l'éclairage;

M. Laforcade, jardinier en chef.

Je regrette de ne pouvoir citer aussi les noms de tous les membres de notre Société, qui, à des titres divers, ont pris part à l'exécution et à l'organisation de l'Exposition. Mais je tiens au moins à rappeler ce que disait notre Président dans son discours d'ouverture, c'est que le nombre en est encore beaucoup plus considérable qu'en 1878.

On connaît notre indépendance; on sait que lorsque nous examinons et discutons des projets intéressant notre pays, nous nous plaçons au point de vue strict de notre profession d'Ingénieur; mais on sait aussi que lorsque le Gouvernement fait appel à notre concours pour une grande œuvre patriotique, nous le lui donnons de la façon la plus complète, la plus absolue. *(Bravo! Bravo! Applaudissements prolongés.)*

M. le Président dit que les applaudissements de la Société témoignent du profond intérêt que tous attachent à la communication de M. Charton. Il est impossible d'avoir un compte rendu plus complet, plus exact et plus intéressant que celui qui vient d'être présenté, c'est véritablement un guide officiel et technique de l'Exposition. *(Approbation unanime.)*

M. le Président croit répondre au vœu de la Société en proposant que ce travail important soit reproduit *in extenso* au procès-verbal de la séance, afin qu'il puisse parvenir à chacun dans le plus bref délai possible.

M. Polonceau croit devoir signaler une lacune dans la remarquable commmunication de M. Charton, c'est qu'il ne parle pas de lui, alors qu'il fait cependant partie du haut état-major de l'Exposition. Avec son grand talent, il possède une qualité au suprême degré : c'est la modestie. *(Bravo! bravo! vifs applaudissements.)*

La séance est levée à onze heures.

LÉGENDE DU PLAN GÉNÉRAL

A	Palais des Arts Libéraux.
B	Palais des Beaux-Arts
C	Galerie Desaix.
D	Galerie Rapp.
E	Palais des Expositions diverses.
F	Palais des Machines.
P	Pavillons de la Ville de Paris.
$T_1 T_2 T_3 T_4$	Piliers de la Tour Eiffel.
a	Bâtiments de l'Exploitation.
b	Id. des Finances.
c	Id. des Travaux.
I C	Emplacement de l'Exposition de la Société des Ingénieurs civils. (Palais des Machines, classe 63).

DÉTAIL DES NUMÉROS

DU

PLAN GÉNÉRAL

---

1. Histoire de l'habitation.
2. Compagnie de Suez.
3. République argentine.
4. Pavillon du Brésil.
5. Pavillon du Mexique.
6. Pavillon du Venezuela.
7. République Bolivienne.
8. Brasserie Tourtel.
9. Pavillon du Chili.
10. Pavillon du Nicaragua.
11. Pavillon du Lota.
12. République de Salvador.
13. Pavillon des Enfants.

13 *bis*. Pavillon de la Mer.

14. Pavillon Villard et Cotard.
15. République de l'Uruguay.
16. République de Saint-Domingue.
17. République du Paraguay.
18. Pavillon du Guatemala.
19. Pavillon d'Haïti.
20. Pavillon Indien.
21. Pavillon Chinois.
22. Restaurant Roumain.
23. Pavillon de Siam.
24. Exposition du Maroc.
25. Exposition Égyptienne.
26. Restaurant Duval.
27. Expos. des Manufactures de l'État.
28. Pavillon Eiffel.
29. Pavillon de la Société des Téléphones.
30. Pavillon du Gaz.
31. Chalet Suédois.
32. Chalet Norvégien.
33. Pavillon Brault.
34. Pavillon Finlandais.
35. Restaurant Kuhn.
36. Taillerie de diamants, de MM. Boos frères.
37. Pavillon Humphreys.
38. Pavillon Kaeffer.
39. Théâtre des Folies-Parisiennes.

39 *bis*. Pavillon Toché.

40. Pavillon Perusson.

40 *bis*. Isba russe.

41. Bureau de Tabacs turcs.
42. Principauté de Monaco.

42 *bis*. Pavillon Daval.

43. Pavillon des Pastellistes.
44. Pavillon des Aquarellistes.
45. Pavillon de la Presse.
46. Station d'électricité.
47. Pavillon des Forges du Nord.
48. Pavillon Dillemont.
49. Écurie Militaire.
50. Pavillon de la Société de Mariemont.
51. Commissariat belge.

51 *bis*. Pavillon Solvay.

51 *ter*. Colonie du Cap. Mine de Diamants de Kimberley.

52. Fonderies et Forges de l'Horme.
53. Anciens Établissements Cail.
54. Pavillon Royaux.
55. Pavillon Lacour.
56. Union céramique chaufournière.
57. Exposition de Montchanin.
58. Pavillon de la Société des Forges de Saint-Denis.
59. Pavillon des Asphaltes.
60. Pavillon Goldenberg.
61. Restaurant Duval.
62. Exposition des Ateliers Ducommun.
63. Cour des Générateurs à vapeur.
64. Restaurant Ansart.
65. Station d'électricité Gramme.
66. Station d'électricité du Syndicat.
67. Station de la Société de transmission de force par l'électricité.
68. Bâtiment de la Douane.
69. Restaurant Duval.
70. Pavillon du duc de Feltre.
71. Machines élévatoires Thomas Powell.
72. — — Quillac et Meunier.
73. Station centrale d'électricité.
74. Annexe de la Classe 52.
75. Pétrole international.
76. Classe 65.
77. Panorama de la C[ie] transatlantique.
78. Pisciculture.
79. Ostréiculture.
80. Chambres de commerce maritime.
81. Palais des Produits alimentaires.
82. Czarda Hongroise.
83. Écurie Rabourdin.
84. Portugal.
85. Espagne.
86. Colonies espagnoles.
87. Exposition Sylvestre.
88. Belgique.
89. Pavillon Ducker.
90. Autriche-Hongrie.
91. Luxembourg.
92. Pays-Bas.

93. Moulin Anglais.
94. Laiterie Anglaise.
95. Beurrerie Suédoise.
96. Restaurant.
97. Pavillon des Postes et Télégraphes.
98 Pavillon de l'Aérostation militaire.
99. Poudres et Salpêtres.
100. Tentes Guilloux.
101. — Tollet.
102. — Cauvin-Yvose.
103. — Mignot-Mahon.
104. Bâtiment principal du Ministère de la Guerre.
105. Tente Walker.
106. Hangar du Ministère de la Guerre.
107. Train sanitaire.
108. Hangar du Ministère de la Guerre.
109. Exposition de l'Union des Femmes de France.
109 *bis*. Exposition de l'Association des Dames Françaises.
110. Bâtiments de l'Assistance publique.
111. Pavillon Geneste Herscher.
112. Palais de l'Hygiène.
113. Bâtiment de l'Assistance publique.
114. Exposition des Eaux minérales.
115. Exposition d'Économie sociale.
116. Dispensaire.
117. Restaurant populaire.
118. Ambulances urbaines.
119. Cercle ouvrier.
120. Société de Participation.
121. Société Leclaire.
122. Maisons ouvrières.
123. Secours aux blessés.
124. Palais de l'Algérie.
125. Palais de la Tunisie.
126. Restaurant arabe.
127. Pagode de Villemour.
128. Palais de Madagascar.
129. Tour de Saldé.
130. Annam et Tonkin.
131. Restaurant Annamite.
132. Serre.
133. Palais central des Colonies.
134. Village Alfourou.
135. — Canaque.
136. — Pahouin.
137. Colon concessionnaire.
138. Palais de la Guyane.
139. Factorerie du Gabon.
140. Restaurant créole.
141. Indo-Chine.
142. Palais de la Guadeloupe.
143. Palais de la Martinique.
144. Village Cochinchinois.
145. Théâtre Annamite.
146. Pagode d'Angkor.
147. Village Indien.
148. Panorama du « Tout-Paris ».
149. Maison d'Ecole modèle.
150. Chalet démontable Poitrineau.
151. Chemin de fer glissant (système Barre).

Séance du 26 Avril 1889.

Présidence de M. G. Eiffel.

Le procès-verbal de la séance du 5 avril est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer les décès de MM. J.-C. Battaille, A. Fragneau, E.-H. Gavand, E. Taillard.

M. le Secrétaire donne lecture de la notice nécrologique suivante sur M. Taillard :

« Sorti de l'école de Liège en 1861 avec le diplôme d'ingénieur, Taillard vint se fixer au bout de peu de temps à Paris.

» L'Exposition universelle de 1867 lui fut une occasion de se faire connaître et apprécier.

» Pendant la guerre, il resta à Paris, et son dévouement à la France, en maintes circonstances, lui valut la croix de chevalier de la Légion d'honneur.

» Les travaux importants de la transformation des Buttes-Chaumont lui furent confiés, et vous connaissez tous, Messieurs, le résultat brillant qu'il obtint en assainissant et en transformant un des quartiers les plus tristes de notre ville.

» Peu après, il fut promu au grade d'officier de la Légion d'honneur, et, dès lors, il fit partie de nombre d'entreprises industrielles.

» Membre de notre Société depuis 1867, Taillard avait à cœur de développer nos relations avec l'étranger, et il fut un des organisateurs les plus ardents des excursions que fit notre Société en Belgique ainsi que de la visite que nos collègues étrangers nous rendirent en 1885.

» Taillard laisse à tous ceux qui l'ont connu le souvenir d'une grande intelligence, d'un travailleur acharné et d'un cœur généreux et dévoué. » *(Applaudissements.)*

M. le Président a le plaisir d'annoncer que M. L. Appert a été nommé commandeur de l'ordre de Conception du Portugal. M. le Président est heureux de féliciter M. Appert à ce sujet. *(Applaudissements.)*

Il est donné lecture d'une lettre de M. H. Hervegh dans laquelle notre collègue annonce qu'il fait don à la Société de trois photographies prises en Octobre 1887, représentant deux des puits artésiens à pétrole (les nos 4 et 5) situés à Wietzno en Galicie, sur le versant nord des Carpathes, à 300 *m* de hauteur au-dessus de la mer ; ces puits ont été forés dans le terrain tertiaire-éocène par l'entreprise canadienne « Bergheim et Marc Garvey ».

Le premier jet du puits artésien n° 4 eut lieu en avril 1887 à 154 *m* de profondeur ; il jaillit pendant quatre mois avec un débit initial de 300 *q* par jour qui diminua graduellement.

Il a été approfondi en août 1887 jusqu'à 230 *m* (profondeur actuelle) où l'on rencontra le deuxième jet de 1 200 *q* par jour ; il resta jaillis-

sant, avec diminution graduelle du débit jusqu'en novembre 1888 : il donne actuellement (mars 1889), par puisement, 24 *q* par jour.

Le premier jet du puits artésien n° 5 eut lieu en août 1887 à 246 *m* de profondeur ; le débit initial était de 1 500 *q* par jour ; on rencontra le grès pétrolifère à 224 *m*.

Ce puits resta jaillissant, avec diminution graduelle de débit, jusqu'en juin 1888, où il fut approfondi jusqu'à 320 *m*, profondeur actuelle ; il devint de nouveau jaillissant avec un débit initial d'environ 600 *q* par jour, et il resta jaillissant jusqu'en septembre 1888, époque à laquelle on installa la pompe ; le débit actuel, en mars 1889, était de 37 *q* par jour.

M. le Président dit que la Société a reçu de notre ancien Président M. Hersent, deux très intéressants ouvrages de M. Loureiro, ingénieur du Gouvernement Portugais, sur les ports du Portugal comparés à ceux des autres contrées, et sur un projet d'établissement maritime à Macao (Possession portugaise des mers de la Chine). Ces ouvrages seront déposés à la Bibliothèque de la Société où ils pourront être utilement consultés par ceux de nos collègues qui s'occupent de questions maritimes. M. le Président adresse les remerciements de la Société à M. Loureiro.

Il est ensuite donné lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction Publique et des Beaux-Arts informant la Société que le Congrès des Sociétés savantes aura lieu à Paris les 12, 13 et 14 juin, dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne, et l'invitant à désigner des délégués pour la représenter à ce Congrès.

M. Gruner a la parole pour dire quelques mots du *Congrès international des accidents du travail* qui doit se réunir à Paris du 9 au 14 septembre et tiendra ses séances à l'Ecole de droit.

La Société des Ingénieurs Civils a, dit-il, montré l'importance qu'elle attache aux questions sociales en leur faisant une large place dans ses séances et en accordant l'an dernier sa médaille à un mémoire sur ce sujet ; et le Ministre s'est rendu compte des sentiments de la Société, puisqu'il n'a pas appelé moins de sept de ses membres à faire partie de ce Comité, et parmi eux, deux de vos anciens présidents, MM. Muller et Reymond.

Composé d'éléments très divers empruntés au Parlement, aux grands corps de l'État, et au monde des ingénieurs et économistes, le Comité a voulu, dès sa première séance, affirmer son absolue neutralité en appelant à la Présidence, le Président du Conseil général des Mines, M. Linder, et à la vice-présidence MM. Ricard et Emile Muller.

La discussion sur un sujet aussi complexe eût facilement dévié en des débats passionnés et superficiels. Aussi le Comité a-t-il tenu à préparer longtemps à l'avance le terrain.

Il a donc tracé un programme précis et a trouvé des rapporteurs dévoués qui ont bien voulu se charger de rédiger de courts mémoires qui serviront de base aux discussions.

Ces mémoires seront imprimés et distribués à l'avance à tous les adhérents de façon que chaque jour le travail sera préparé et le cadre des discussions sera bien délimité.

Ainsi que l'indique le programme qui sera envoyé à tous ceux qui le

désireront (1), le Congrès se divisera en deux sections : la première s'occupera des questions économiques, statistiques et de législation se rattachant aux accidents du travail.

La seconde étudiera les mesures préservatrices générales et les dispositifs appliqués ou projetés pour prévenir les accidents.

Plusieurs économistes et professeurs éminents d'Italie, de Suisse, de Belgique et d'Alsace ont bien voulu se charger de présenter des rapports sur certaines questions ; et, sous la conduite de collègues dévoués, des groupes visiteront chaque jour les appareils exposés, destinés à prévenir les accidents.

M. Gruner exprime l'espoir que beaucoup de membres de la Société tiendront, en adhérant à ce Congrès, à témoigner de l'intérêt qu'ils portent à l'amélioration de la situation de la classe ouvrière.

Personne ne conteste, en effet, qu'il reste beaucoup à faire pour diminuer les risques d'accidents et préserver de la misère les blessés, leurs veuves et leurs orphelins.

M. le Président s'associe au désir exprimé par M. Gruner et dit qu'il ne peut qu'engager les membres de notre Société à se faire inscrire à ce Congrès. Il rappelle aussi que celui des Mines et de la Métallurgie doit s'ouvrir à Paris le 2 septembre prochain et durer dix jours. Le Président est M. Castel; MM. Brüll, Jordan, Remaury, en sont vice-présidents et comme secrétaires il y a aussi des membres de la Société. Les questions qui y seront portées sont de nature à intéresser les Ingénieurs civils et l'appel de ce comité sera certainement entendu.

M. Vigreux, dans l'impossibilité d'assister à la séance, se fait excuser de ne pas présenter l'analyse de l'ouvrage de Weyrauch sur la *Stabilité des constructions en fer et en acier et calculs de leurs dimensions.*

L'ordre du jour appelle la communication de M. J. Pillet sur la *Balance électrique.*

M. J. Pillet rappelle qu'on donne ordinairement le nom de *balance*, dans une exploitation minière, à des appareils destinés à descendre soit des remblais, soit des boisages ou autres matériaux aux étages inférieurs.

Ce terme, dit-il, peut être entendu d'une façon plus générale qui résulte de la définition suivante :

« Si deux véhicules se déplacent sur une trajectoire verticale ou » inclinée, de telle sorte que tout mouvement de l'un d'eux entraine » l'autre dans un sens contraire ; que de plus le travail effectué par le » véhicule descendant soit utilisé en tout ou partie pour l'ascension du » second véhicule, on forme un système de Balance. »

Ce qui précède conduit à diviser les Balances en deux groupes, suivant que le poids descendant l'emporte toujours ou non sur le poids montant. La Balance électrique rentre en général dans le deuxième groupe : le moteur placé sur le véhicule montant détermine la progression du système, soit par simple adhérence, soit par l'emploi de crémaillères.

Ce dispositif présente l'avantage de pouvoir se prêter à toutes les sinuosités d'un tracé, à toutes les variations de déclivité d'un profil en long.

Le système se compose de 2 véhicules identiques, se déplaçant en sens

(1) Écrire à M. Gruner, secrétaire du Congrès, 6, rue Férou.

inverse sur deux voies parallèles. Trois circuits électriques sont placés : l'un *intérieur*, dans l'entrevoie ; les deux autres *extérieurs*, de part et d'autre des voies.

Chaque véhicule porte deux dynamos *m* et *d* actionnant simultanément le même essieu moteur.

La machine dynamo *m* peut, ou communiquer par l'un des circuits extérieurs avec une dynamo-génératrice installée à l'usine, ou se monter en série avec *d* sur le circuit intérieur.

Les dynamos *d* des 2 véhicules communiquent toujours entre elles par ce dernier circuit.

Deux rhéostats sont montés sur les circuits extérieurs et deux galvanomètres sur le circuit intérieur.

Les circuits extérieurs travaillant successivement, peuvent être réduits à un seul placé dans l'entrevoie ; de plus, la longueur de la ligne étant généralement assez faible, il est possible de prendre la terre comme fil de retour. Il ne reste plus alors que deux conducteurs électriques, d'une longueur égale à celle de la ligne.

Pendant le mouvement du système, les deux dynamos du véhicule descendant D, montées en série, envoient par le circuit intérieur à la dynamo *d* du véhicule montant G, une partie de l'énergie provenant de la descente du premier mobile. Sous l'influence de la rotation de la dynamo *d*, G se met en marche et commence son ascension.

Le travail disponible étant insuffisant pour donner à G sa vitesse de régime, le complément nécessaire est emprunté à la dynamo de l'usine, par l'intermédiaire d'un des circuits extérieurs et de la dynamo réceptrice *m* du véhicule G. La quantité demandée variera suivant les surcharges ou les accidents du tracé ; le rhéostat *r* placé sur G permettra de modifier la puissance de *m* et par suite de régler convenablement la vitesse de G.

L'économie de l'exploitation résulte de la récupération d'une partie du travail effectué par la descente de D.

M. J. Pillet ajoute qu'il a cherché à se rendre compte d'une façon plus complète des conditions de fonctionnement de la Balance électrique. Il indique les principaux résultats de cette étude qu'on trouvera dans son Mémoire.

Il explique ensuite comment les galvanomètres montés sur le circuit intérieur peuvent être utilisés comme indicateurs de marche, c'est-à-dire pour contrôler le fonctionnement du système.

Dans certains cas, il est absolument impossible d'établir deux voies parallèles : la Balance telle qu'elle vient d'être décrite est alors irréalisable. Mais on peut constituer un système analogue au précédent qui permet de récupérer le travail fourni par la descente du véhicule. M. J. Pillet en donne la description, ajoutant que l'économie réalisée est faible ; dans certains cas particuliers, ce système peut présenter néanmoins des avantages qui en justifient l'emploi.

Pour se rendre compte de la fatigue que les dynamos pourront avoir à supporter, M. J. Pillet a fait une étude sommaire d'après les données suivantes :

Sur un plan incliné de 0,17 *m* par *m*, formé de deux voies parallèles

rectilignes à crémaillère centrale et de 10 *km* de long, se déplacent en sens inverse deux véhicules pouvant contenir chacun 32 voyageurs.

Il a constaté que, dans ces conditions, les deux dynamos *m* et *d* travaillent d'une façon différente ; la première fatigue davantage ; dans les limites pratiques admises, sa puissance doit pouvoir varier de 6 à 48 chevaux vapeur environ. La puissance de *d* ne varie que de 30 à 40 chevaux.

Enfin, ainsi qu'il était facile de le prévoir, l'emploi du rhéostat *y* pour régler la vitesse des deux véhicules, peut abaisser le rendement industriel du transport de l'énergie électrique par le circuit extérieur, de 58 à 30 0/0. Le rendement du transport par le circuit intérieur conservera une valeur sensiblement constante et égale a 53 0/0.

M. J. Pillet termine par une courte description d'un système d'ascenseur établi en balance et suivant une trajectoire courbe. *(Applaudissements).*

M. le Président remercie M. J. Pillet de sa communication et exprime l'espoir que la pratique viendra consacrer le résultat de ces recherches théoriques intéressantes.

M. Ansaloni a la parole pour sa communication sur les *ascenseurs de la Tour de 300 mètres.*

M. Ansaloni dit que la tour de 300 *m* ne présente pas seulement de l'intérêt par son aspect extérieur, mais aussi par le splendide panorama s'étendant, à mesure qu'on s'élève à l'intérieur, jusqu'à des distances de 60 à 80 *km.* Il fallait donc faciliter largement l'accès de ses diverses plates-formes. On ne pouvait songer pour cela à faire gravir aux nombreux visiteurs les 1 800 marches des escaliers de service : d'où la nécessité des ascenseurs.

Ces appareils sont combinés de la manière suivante:

Deux ascenseurs, système *Roux, Combaluzier et Lepape*, à bielles articulées, monteront du rez-de-chaussée au 1er étage, dans les piles Est et Ouest.

Deux ascenseurs américains, système *Otis*, partiront également du rez-de-chaussée, dans les piles Nord et Sud, et porteront leurs voyageurs jusqu'à la deuxième plate-forme (niveau 115 *m*) avec arrêt facultatif au 1er étage.

Enfin, un ascenseur *Edoux*, placé verticalement au centre de la tour, prendra les voyageurs à la deuxième plate-forme pour les déposer au 3e étage (niveau 276 *m*).

Chacun, des ascenseurs Roux, Combaluzier et Lepape, peut élever 100 personnes à la vitesse de 1 *m* par seconde ; soit, à raison de 12 voyages, 2 400 personnes à l'heure. Les ascenseurs Otis prendront 50 personnes seulement, mais ils feront 8 voyages à la vitesse de 2 *m* par seconde, soit 800 personnes transportées par heure au 2e étage. Enfin, l'ascenseur Edoux transportera, dans le même temps, ces 800 voyageurs jusqu'à la troisième plate-forme, à raison de 12 voyages à la vitesse de 0,90 *m* par seconde, avec 60 à 70 voyageurs.

M. Ansaloni décrit ensuite en détail les organes des divers ascenseurs. (On trouvera cette description détaillée avec figures à l'appui dans le *Bulletin* où sera reproduite *in extenso* la communication de M. Ansaloni.

Ceux du système *Roux, Combaluzier et Lepape* sont essentiellement constitués par un double cours de bielles articulées munies de galets et circulant dans des gaines placées sur les poutres inclinées qui supportent la voie des wagons ou cabines des ascenseurs. Les bielles, sorte de chaine de Galle, forment un circuit complet passant à la partie supérieure sur une poulie de renvoi et à la partie inférieure sur une roue motrice actionnée par le piston d'une pompe hydraulique. Les cabines sont munies de chaque côté d'une poutrelle en tôle intercalée dans le circuit et produisant l'entrainement de la cabine. Pour chaque ascenseur, le mécanisme moteur est double, mais les arbres moteurs sont accouplés et le mouvement est réglé par deux distributeurs qui introduisent dans les cylindres l'eau des réservoirs placés à la deuxième plateforme (115 *m*) pour déterminer l'ascension des cabines, ou qui permettent d'évacuer graduellement cette eau quand l'on veut descendre. Cet ascenseur porte en lui-même ses appareils de sécurité et, de plus, son mécanisme étant double et chaque moitié étant suffisante pour supporter la charge entière de la cabine, il faudrait admettre que deux organes semblables du mécanisme fissent défaut en même temps pour qu'un accident devînt possible.

L'ascenseur *Otis* présente une disposition analogue à celle réalisée dans les grues Chrétien; c'est un palan dont le rôle est renversé, la puissance étant appliquée directement sur la moufle et la résistance sur le garant. La puissance est représentée par un cylindre hydraulique dans lequel se meut un piston à deux tiges attachées à un chariot mobile qui porte six poulies à gorge de 1,52 *m* de diamètre. Le cylindre est maintenu par deux poutres inclinées à 61° 20' et mesurant environ 40 *m* de longueur. Ces poutres supportent la voie du chariot mobile et à leur partie supérieure sont installées six poulies fixes correspondant avec les poulies du chariot pour constituer un immense palan mouflé à 12 brins. Chaque brin comprend 4 câbles d'acier de 20 *mm* de diamètre. Le garant s'élève jusqu'au-dessus du 2e étage, guidé par des poulies à joues; les 4 câbles se divisent alors en deux moitiés et redescendent de chaque côté de la voie des ascenseurs pour venir s'attacher sous le truc qui supporte les cabines. Une partie du poids mort à élever est équilibré par un contrepoids formé d'un long truc muni de roues, relié à la cabine par deux câbles de 23 *mm* de diamètre et circulant sur une voie établie directement sur l'arbalétrier en dessous du chemin des ascenseurs. On ne laisse à la cabine que l'excédent de poids mort nécessaire pour qu'elle puisse descendre seule à vide, en entrainant le chariot des poulies mobiles et le piston. L'eau motrice est fournie par les réservoirs établis au 2e étage (hauteur 120 *m*). Enfin, des appareils de sécurité d'une efficacité incontestable sont appliqués à cet ascenseur pour se prémunir contre une rupture possible des câbles. Ils consistent essentiellement en une sorte de frein à mâchoire muni de coins en bronze qui embrassent les champignons des rails de la voie des cabines et du contrepoids et fonctionnent par l'effet de la rupture ou seulement de l'allongement exagéré d'un des câbles.

L'ascenseur *Edoux* est trop connu pour qu'il soit nécessaire, dit M. Ansaloni, de revenir sur les détails de son fonctionnement; celui de la tour

est surtout remarquable par ses proportions extraordinaires, qui dépassent celles de l'ascenseur installé au Trocadéro en 1878, et aussi par les dispositions ingénieuses imaginées pour diminuer la longueur des cylindres et la dimension des câbles d'équilibrage. A cet effet, on a divisé en deux parties égales l'espace vertical de 120 *m* à parcourir, en supportant l'ascenseur sur une plate-forme intermédiaire, de sorte que les deux cylindres ne descendent pas sensiblement au-dessous du plancher du 2e étage. Une première cabine placée au-dessus de ces cylindres supporte, en guise de contrepoids, une autre cabine semblable, et les quatre câbles qui relient les deux cabines sont utilisés pour élever les visiteurs en même temps qu'ils équilibrent les variations de poids des pistons. En opérant l'échange des deux cabines à l'étage intermédiaire, on obtient le même résultat que si chacune d'elles franchissait complètement la distance qui sépare les deux étages. Les pistons sont doubles et sont logés dans les colonnes de guidage de la cabine supérieure, pour les soustraire à l'action du vent. L'eau motrice est fournie par un réservoir établi à l'étage supérieur de la tour. La sécurité est absolue. en ce qui concerne la rupture possible des câbles ; en effet, ils n'ont à travailler qu'à 2 *k* 13 par m/m^2 et peuvent résister à 100 *kg* de traction ; néanmoins, pour inspirer toute confiance aux personnes qui conserveraient encore des appréhensions, on a muni la cabine suspendue d'un double frein système Backman, d'un fonctionnement absolument certain.

En terminant, M. Ansaloni annonce qu'il complétera ultérieurement sa communication par la description de la machinerie hydraulique, de la canalisation et des réservoirs. *(Applaudissements.)*

M. le Président remercie M. Ansaloni de sa communication des plus intéressantes, malgré la difficulté de suivre les explications sur les dessins mis sous les yeux des membres de la Société, et dont quelques détails sont un peu confus.

M. le président dit que ces appareils offrent une grande sécurité et qu'ils fonctionnent à la satisfaction de tous. Les premiers ont été essayés il y a cinq jours et ceux de M. Edoux seront mis en expérience très probablement mercredi prochain.

Les ascenseurs Roux, Combaluzier et Lepape ont été étudiés par M. Guyenet et donneront sans doute aussi complète satisfaction.

La séance est levée à onze heures un quart.

NOTE

SUR LES

ASCENSEURS DE LA TOUR DE 300 MÈTRES

PAR

M. A. ANSALONI

La Tour de 300 *m* ne présenterait qu'une faible partie de ses attraits aux visiteurs qui viendront certainement la contempler de toutes les parties du monde si l'on devait seulement la regarder à distance.

Chacun voudra examiner de près les détails de cette construction gigantesque et admirer du haut de ses galeries superposées le magnifique panorama qui se développe à mesure que l'on s'élève et permet de porter la vue jusqu'à 60 et 80 *km*.

En même temps qu'il édifiait son œuvre, le constructeur s'est donc préoccupé des moyens de la rendre accessible au plus grand nombre.

On ne pouvait songer à faire gravir dix-huit cents marches aux visiteurs pour les conduire jusqu'en haut de la Tour, ce mode d'ascension peut convenir pour s'élever jusqu'au premier étage, à 57 *m* au-dessus du sol, et deux escaliers suffisamment spacieux, placés dans les piles Est et Ouest, permettent, en effet, d'atteindre cet étage sans fatigue. On peut même arriver jusqu'à la deuxième plate-forme par les petits escaliers tournants qui occupent les quatre angles de la Tour.

Mais, en outre de ces escaliers, le service sera fait par des ascenseurs combinés de la manière suivante :

Deux ascenseurs du système *Roux, Combaluzier et Lepape*, à bielles articulées, monteront du rez-de-chaussée au premier étage, concurremment avec les escaliers, dans les piles Est et Ouest.

Deux ascenseurs américains du système *Otis* partiront également du rez-de-chaussée dans les piliers Nord et Sud, et porteront leurs voyageurs jusqu'à la deuxième plate-forme, à **115** ***m*** de hauteur, avec arrêt facultatif au premier étage.

Enfin, un ascenseur du système ***Edoux***, placé verticalement au centre de la Tour, prendra les visiteurs sur cette deuxième plateforme et les déposera dans le belvédère constituant le troisième étage, à 276 *m* au-dessus du sol.

Chaque ascenseur du système ***Roux, Combaluzier et Lepape*** peut élever 100 personnes à la vitesse de 1 *m* par seconde et fera 12 voyages à l'heure. C'est donc 2 400 personnes par heure qui pourront être amenées au premier étage, où elles trouveront des restaurants, des cafés et d'immenses galeries couvertes, pour jouir du spectacle de l'Exposition et de la vue de tous les monuments de Paris.

Les cabines des ascenseurs Otis contiendront 50 personnes; elles marcheront à la vitesse de 2 *m* par seconde et, en tenant compte des temps d'arrêt, elles pourront effectuer 8 voyages à l'heure, ce qui donne pour les deux ascenseurs :

$$2 \times 50 \times 8 = 800 \text{ personnes}$$

transportées au deuxième étage.

L'ascenseur Edoux, dont la cabine peut contenir de 60 à 70 voyageurs et qui fera 12 voyages à l'heure, en calculant sur une vitesse de 0,90 *m* par seconde, permettra l'accès de la troisième plate-forme aux 800 visiteurs amenés par les ascenseurs américains.

DESCRIPTION DES ASCENSEURS

Roux, Combaluzier et Lepape

Les ascenseurs Roux, Combaluzier et Lepape sont essentiellement constitués par un double cours de bielles articulées munies de galets sur chaque axe d'articulation et circulant dans des gaines placées sur les poutres inclinées qui supportent la voie des wagons ou cabines des ascenseurs.

Ces bielles, de 1 *m* de longueur et de 0,045 *m* de diamètre, réunies les unes aux autres, forment un circuit complet et passent sur une poulie de renvoi de 3,50 *m* de diamètre placée au-dessus du premier étage.

Sur les flancs de la cabine, on boulonne de chaque côté une

poutrelle en tôle intercalée dans le circuit et, pour laisser passer cette attache, chaque gaine en contact avec les poutres de l'ascenseur porte une fente longitudinale sur sa face interne ; l'autre gaine, superposée à la première, est entièrement fermée et emprisonne le second brin de circuit.

A la partie inférieure, la chaîne des bielles contourne une roue motrice de 3,90 *m* de diamètre à douze bras. Chacun des bras est muni à son extrémité d'une dent en acier évidée qui saisit les bielles au renflement de la chape et leur donne l'impulsion.

La roue motrice de chaque circuit est actionnée par un piston de 1,05 *m* de diamètre et de 5,05 *m* de course qui se meut horizontalement dans un cylindre hydraulique de 1,20 *m* de diamètre.

La tête du plongeur porte 2 poulies de 1,60 *m* de diamètre agissant sur 2 chaînes Galle à triple cours de mailles dont une extrémité est fixée invariablement au bâti du cylindre, tandis que l'autre extrémité se développe en s'engrenant autour d'un double pignon de 0,60 *m* de diamètre calé sur l'arbre de la roue motrice.

Pour chaque ascenseur, le mécanisme est double, mais les arbres moteurs sont accouplés et le mouvement est réglé par 2 distributeurs manœuvrés simultanément qui introduisent dans les cylindres l'eau puisée dans des réservoirs placés sur la deuxième plate-forme, à 115 *m* de hauteur, s'il s'agit d'élever les cabines, ou qui permettent à l'eau contenue dans les cylindres de s'évacuer graduellement, si l'on veut descendre.

La pression d'eau n'agit donc que dans le sens de la montée. A la descente, au contraire, le mouvement se produit sous l'action du poids de la cabine. Mais comme cette charge est encore plus que suffisante pour vaincre les frottements du mécanisme, on l'équilibre en partie au moyen de contrepoids en plomb enveloppant un certain nombre de bielles placées dans les gaines fermées.

Équilibre du système

Le poids de la cabine à double étage est d'environ 6 400 *kg*.

Les contrepoids placés sur le brin du circuit opposé à celui qui porte la cabine forment un total de 3000 *kg*, il reste donc un poids non équilibré de 3 400 *kg* dont la composante parallèle au chemin des ascenseurs, c'est-à-dire inclinée à 54° 35′, représente :

$$3\,400 \times \sin 54^\circ 35' = 3\,400\ kg \times 0.815 = 2\,770\ kg,$$

Cette charge est suffisante pour surmonter les frottements, re-

pousser le plongeur au fond du cylindre et permettre ainsi la descente à vide de la cabine.

Si l'on suppose au contraire qu'il faut monter avec 100 voyageurs dont le poids est estimé à 7 000 *kg*, le poids non équilibré de la cabine étant 3 400 on obtient un total de 10 400 *kg* qui représente, suivant la pente, un effort de
$10\,400 \times 0{,}815 = 8\,476$ *kg*, à l'extrémité des bras des roues motrices.

Reporté sur les pistons plongeurs cet effort devient, en considérant le rapport des diamètres et le mouflage de la chaîne Galle ; mais sans tenir compte des frottements.

$$8\,476 \times \frac{3{,}90}{0{,}60} \times 2 = 8\,476 \times 13 = 110\,188 \; kg$$

Or en supposant une perte de charge de 14 à 15 *m* dans la conduite qui relie les cylindres aux réservoirs du 2[e] étage, la pression de l'eau sur les plongeurs est encore de 10 *kg* par centimètre carré de section, soit :

$$2 \times 8\,659 \; cq \times 10 = 173\,180 \; kg$$

La différence

$$173\,180 - 110\,188 = 62\,000 \; kg$$

sera employée pour moitié environ à vaincre les frottements des différents organes à la montée.

Cabines.

Les cabines se composent de deux caisses superposées mais complètement indépendantes l'une de l'autre, mesurant chacune 2,50 *m* de hauteur, 3,20 *m* de large et 4,20 *m* de profondeur.

Chaque caisse repose sur un châssis en fer.

L'attache intercalée dans la chaîne des bielles se fixe à la fois sur les flancs de la caisse inférieure par l'intermédiaire d'une pièce en écharpe et sur les deux châssis.

Les cabines sont supportées par quatre roues qui leur permettent de circuler sur une voie fixée aux poutrelles inclinées du chemin des ascenseurs.

Le service de chacune des deux caisses est fait au moyen de deux portes roulantes placées sur les côtés et manœuvrées du dehors, soit par le conducteur de l'ascenseur qui se tient sur une plate-forme faisant saillie à l'avant de la caisse inférieure, soit par un agent du contrôle à poste fixe sur les débarcadères en ce qui regarde la caisse supérieure.

Dans chacune des caisses se trouve un grand banc occupant toute la largeur de la cabine contre la paroi du fond et plusieurs autres petits bancs laissant entre eux un passage assez grand pour la circulation à deux files de voyageurs séparées par une lisse. Les dossiers des bancs courts sont munis de main courantes permettant aux voyageurs debout entre les bancs de se tenir pendant l'ascension.

Ces cabines peuvent contenir — ainsi que nous l'avons dit — 100 personnes réparties dans les deux étages, soit 70 debout et 30 assises.

Distributeurs.

Une conduite en fer de 250 *mm* de diamètre amène au pied de chaque pilier l'eau des réservoirs de la deuxième plate-forme.

Une canalisation de même diamètre ramène au réservoir des pompes placées dans la pile sud l'eau qui a passé dans les cylindres.

Entre la conduite d'amenée et celle d'évacuation sont placés les distributeurs des deux cylindres.

Chaque distributeur est formé d'une boite en fonte à trois compartiments séparés par deux soupapes en bronze partiellement équilibrées.

Les tiges des deux soupapes traversent la boite et sont actionnées par deux cames montées à l'inverse sur le même arbre de façon à agir tantôt sur une soupape, tantôt sur l'autre, suivant que l'arbre des cames est sollicité dans un sens ou dans un autre.

Le mouvement est donné à cet arbre par un double câble tendu sur le parcours de la cabine que le conducteur peut attaquer à toute hauteur pour faire varier la vitesse.

Les cabines, d'ailleurs sont arrêtées automatiquement aux deux extrémités de leur course par l'intermédiaire d'une tringle et de deux taquets de butée que heurtent les têtes des plongeurs dans leurs positions extrêmes.

Sécurité.

L'ascenseur Roux, Combaluzier et Lepape porte en lui-même ses appareils de sécurité il n'a pas besoin de parachute car aucun accident ne peut se produire.

Nous avons dit que les bielles mesuraient 1 *m* de long et 0,045 *m* de diamètre, ce qui donne 22 pour le rapport des deux dimen-

sions et comme elles sont emprisonnées dans une gaine indéformable elles travaillent à la compression sans flexion.

En admettant qu'un axe, une chape ou tout autre partie de bielle vienne à se briser, les différents maillons de la chaîne restent toujours en contact et le seul inconvénient qui puisse en résulter c'est l'arrêt momentané de l'ascenseur.

Nous avons dit également que le mécanisme était double et comme chaque moitié est suffisante à elle seule pour supporter la charge entière de la cabine, sinon pour la mettre en mouvement, il faudrait admettre que deux organes semblables du mécanisme fissent défaut en même temps pour qu'un accident devînt possible.

Description des ascenseurs « Otis »

L'ascenseur Otis nous présente une disposition d'organes analogue à celle réalisée dans les grues Chrétien.

C'est un palan dont le rôle est renversé, la puissance étant appliquée directement sur la moufle et la résistance sur le garant.

La puissance est représentée par un cylindre hydraulique de 0,965 *m* de diamètre intérieur et de 11 *m* de longueur dans lequel se meut un piston à deux tiges attachées à un chariot mobile qui porte six poulies à gorges de 1,52 *m* de diamètre.

Le cylindre est maintenu par deux poutres inclinées suivant un angle de 61° 20′.

Ces poutres mesurent environ 40 *m* de longueur, elles supportent également la voie du chariot des poulies mobiles et à leur extrémité supérieure sont installées six poulies fixes en correspondance avec les poulies du chariot pour constituer un immense palan mouflé à 12 brins.

Chaque brin comprend quatre câbles en fil d'acier de 20 *mm* de diamètre, l'attache du *dormant* se fait sur le haut de la poutre par l'intermédiaire de palonniers qui assurent une égale tension des quatre câbles.

Le garant s'élève jusqu'au-dessus du deuxième étage guidé par des poulies à joues; les 4 câbles se divisent alors en deux moitiés et redescendent de chaque côté de la voie des ascenseurs pour venir s'attacher sous le truc qui supporte les cabines.

Afin de diminuer l'effort sur le piston (effort qui doit être théoriquement 12 fois plus grand que la charge à élever), on équilibre une partie du poids mort au moyen d'un contrepoids et on ne isse à la cabine que l'excédent nécessaire pour qu'elle puisse

descendre seule à vide, entraînant le chariot des poulies mobiles et le piston, car la pression d'eau n'est jamais introduite que par le haut du cylindre qui travaille ainsi à simple effet.

Le contrepoids est constitué par un long truc muni de roues et chargé de gueuses en fonte.

Il se meut sur une voie de 45 *m* de longueur établie directement sur l'arbalétrier en dessous du chemin des ascenseurs vers le bas de la Tour dans une partie rectiligne inclinée à 54° 35′.

Ce truc est relié à la cabine par deux câbles de 23 *mm* de diamètre mouflés trois fois et passant également sur des poulies de renvoi au-dessus du deuxième étage pour redescendre de chaque côté de la voie parallèlement aux câbles principaux.

Équilibre du Système.

La cabine et son truc, avec ses appareils de sécurité et de manœuvre, représentent un poids de. . . . . 10 840 *k*

qui se réduit à :

10 840 × 0,815 = 8 850 *k*

suivant la composante parallèle au chemin des ascenseurs.

Le contrepoids de 25 000 *k* donne suivant la même inclinaison de 54° 35 une force de :

25 000 × 0,815 = 20 400 *k*

capable d'équilibrer . . . . 6 650 *k*

sur la cabine en tenant compte des frottements.

Il reste donc une charge non équilibrée de . . . . 2 200 *k*

à laquelle il faut ajouter celle résultant du poids de 50 voyageurs, soit :

3 500 × 0,815 = 2 850 *k*

et une autre force de . . . . 2 150 *k*

représentant les résistances passives ainsi que l'augmentation de charge due au redressement de la voie dans la partie haute du parcours.

Résistance totale. . . . . 7 200 *k*

L'effort sur les tiges du piston sera douze fois plus grand et, pour équilibrer cette résistance, il nous faut avoir théoriquement :

7 200 × 12 = 86 400 *k*

Cependant il faut déduire de ce chiffre le poids du chariot des

poulies mobiles et du piston lui-même qui représentent dans le sens de la puissance une force d'environ. . . . . . . 15 000 *k*

La hauteur de chute entre le niveau des réservoirs du deuxième étage et l'évacuation de l'eau étant de 120 *m*, on peut admettre avec les pertes de charge une pression de 11 *k* dans le cylindre, ce qui, pour une section de 0,7313 m^2 donne une force de :

$7\,313 \times 11 =$ 80 440 *k*

Total. . . . . 95 440 *k*

sensiblement supérieur à la puissance nécessaire pour équilibrer les résistances.

Cabines.

Les cabines sont à peu près identiques comme dimensions à celles des ascenseurs Roux-Combaluzier et Lepape et si les deux caisses superposées ne contiennent que 50 personnes au lieu de 100, c'est qu'on a voulu asseoir tous les voyageurs afin de les soustraire au mouvement transversal imprimé à la cabine pendant le trajet par le changement d'inclinaison du chemin des ascenseurs dont l'angle augmente d'environ 20 degrés entre le premier et le deuxième étage.

Il s'ensuit qu'en plaçant le plancher de la cabine horizontalement au départ on arriverait à une inclinaison de 40 *cm* par mètre dans le haut.

Pour éviter cet inconvénient, on dessert chaque étage des cabines par un couloir dirigé de l'avant à l'arrière et dont le plancher est formé de marchepieds oscillant sur des balanciers qui sont manœuvrés par un levier placé sous la main du conducteur.

Les cabines sont disposées de telle sorte que dans leur position moyenne, c'est-à-dire à la station du premier étage, leur plancher soit sensiblement horizontal afin de partager par moitié l'inclinaison qu'elles prennent en sens inverse aux deux extrémités du trajet.

Mais alors les marchepieds du couloir actionnés tous en même temps par le levier de manœuvre se placent suivant l'horizontale et constituent un véritable escalier descendant ou montant suivant le sens de l'inclinaison des cabines.

Les sièges et leurs dossiers sont arrondis pour offrir au corps un appui convenable, quelle que soit la position occupée par la cabine sur le chemin des ascenseurs.

Le conducteur placé dans un abri en avant de la caisse inférieure des cabines peut régler à chaque instant l'allure de son ascenseur en agissant sur deux câbles de manœuvre qui, par l'intermédiaire de poulies de renvoi, soulèvent ou abaissent le levier de commande du distributeur.

Distributeur.

Les deux extrémités du cylindre hydraulique sont reliées par un tuyau dit « de circulation » de 0,225 *m* de diamètre intérieur, sur lequel on a intercalé l'appareil de distribution.

Pour que l'ascenseur fonctionne à la montée, il est nécessaire d'admettre l'eau sous pression en haut du cylindre en même temps que l'on ouvre l'orifice de décharge.

Pour la descente, au contraire, il faut établir la communication entre le haut et le bas du cylindre, de sorte que l'eau ne fait que passer d'un côté à l'autre du piston par le tuyau de circulation.

Enfin, pendant l'arrêt, l'eau ne doit, ni circuler, ni s'introduire dans le cylindre.

Ces trois phases de la manœuvre sont obtenues au moyen d'un cylindre de 0,225 *m* de diamètre intérieur à trois tubulures, dans lequel se meut un piston double avec garniture de cuir embouti.

Les deux tubulures du même côté correspondent par le tuyau de circulation avec le haut et le bas du cylindre hydraulique ; la troisième tubulure sur le côté opposé reçoit le tuyau d'amenée d'eau sous pression.

Le cylindre est toujours en charge par le haut ; si le double piston recouvre entièrement l'orifice inférieur, l'eau ne peut circuler : il y a arrêt.

Si le piston s'élève, la décharge fonctionne et l'ascension se fait ; si, au contraire, il s'abaisse, la décharge est encore interceptée, mais l'eau peut circuler plus ou moins librement d'une extrémité à l'autre du cylindre et la descente s'opère sous le poids de la cabine qui entraîne le chariot des poulies mobiles ainsi que le piston.

L'effort nécessaire pour manœuvrer directement sous pression le piston du distributeur serait d'environ 4 000 *k*.

On évite de développer à la main un effort aussi considérable en employant un servo-moteur accolé au distributeur.

Ce servo-moteur est lui-même un tiroir cylindrique dont le piston ne mesure que 0,045 *m* de diamètre et qui fonctionne par rapport au distributeur, comme le distributeur par rapport au

grand cylindre hydraulique en faisant agir la charge d'eau sur un piston de 0,28 *m* de diamètre ayant même tige que le double piston du distributeur et placé au-dessus de ce dernier.

Aux extrémités de course des cabines, l'arrêt s'obtient automatiquement au moyen d'une oreille venue sur le piston du cylindre hydraulique et tournée avec lui.

Cette oreille est disposée pour intercepter toute arrivée ou sortie d'eau, lorsque le piston est sur le point d'atteindre les ouvertures du tuyau de circulation placées à chaque bout du cylindre.

Appareils de sécurité.

Il était indispensable, avec ce système d'ascenseur, de se prémunir contre la rupture possible des câbles.

Des appareils de sécurité d'une efficacité incontestable ont été placés sur le chariot du contrepoids et sur le châssis qui porte les cabines.

Ces appareils sont disposés de la manière suivante :

De chaque côté des châssis, une série de mâchoires portées par un galet spécial circulent à la hauteur du champignon des rails.

Vers l'intérieur, les mâchoires sont munies de deux bandes d'acier entre lesquelles s'introduisent des coins en bronze opposés bout à bout.

Si l'on vient à pousser le coin inférieur, la mâchoire correspondante serre les deux faces du rail, le frottement détermine un premier ralentissement et le coin suivant qui lui est opposé s'enfonce à son tour entre les deux plaques pour augmenter le frottement.

Le coin qui vient après, rencontrant une résistance plus grande, serre encore davantage, de sorte que le mouvement s'arrête dans l'espace de quelques secondes.

La rupture ou seulement l'allongement exagéré d'un câble suffit pour déterminer l'action des freins.

En effet, les câbles viennent s'attacher deux à deux sur une flasque traversée par deux axes fixés sur le châssis des cabines : elle porte deux rainures en arc de cercle qui lui permettent d'osciller autour de l'un ou de l'autre de ces axes et, dans ce mouvement, elle entraîne le déclanchement de deux taquets servant de butée à des ressorts de vagons qui, en se détendant, agissent sur des leviers à l'extrémité desquels sont placés les coins inférieurs

de l'appareil de sécurité : le serrage s'opère donc comme nous l'avons dit et l'arrêt se produit.

Au cas, fort peu probable, où tous les câbles viendraient à se rompre en même temps, un régulateur à force centrifuge placé dans l'intérieur des galets qui supportent les mâchoires opère le déclanchement et fait agir les ressorts aussitôt que la vitesse dépasse trois mètres.

Ascenseur Edoux.

L'ascenseur Edoux est très répandu à Paris et il en est peu d'entre nous qui n'en connaisse déjà le fonctionnement.

Le type le plus important construit jusqu'à ce jour a été installé en 1878 dans l'une des tours du Palais du Trocadéro.

Son cylindre mesure près de 70 *m* de longueur, il a donc fallu pour le loger forer dans le sol un puits très profond.

D'autre part, l'équilibrage de cet ascenseur nécessite l'emploi de câbles énormes, puisque leur poids doit être égal à la moitié de celui du volume d'eau déplacé par le piston.

Dans l'application faite à la Tour du Champ de Mars, entre la 2e et la 3e plate-forme, ces deux inconvénients disparaissent grâce à une disposition ingénieuse de l'appareil.

Au lieu de chercher à franchir d'une seule volée les 160 *m* qui séparent les deux étages, ce qui eût été difficile à réaliser et aurait produit un effet déplorable, on a divisé en deux parties égales l'espace à parcourir, en supportant l'ascenseur sur une plate-forme intermédiaire, de sorte que les deux cylindres ne descendent pas sensiblement au-dessous du plancher du 2e étage.

Une première cabine placée au-dessus de ces cylindres supporte, en guise de contrepoids, une autre cabine semblable et les 4 câbles qui relient les deux cabines sont utilisés pour élever les visiteurs en même temps qu'ils équilibrent la variation de poids des pistons.

En opérant l'échange des voyageurs d'une cabine à l'autre, à l'étage intermédiaire, on obtient le même résultat que si chacune d'elles franchissait complètement la distance qui sépare les deux étages, sauf un léger temps d'arrêt à mi-course.

Au lieu d'un piston unique comme au Trocadéro, on a dû en mettre deux afin de les soustraire à l'influence du vent en les faisant passer dans l'intérieur des colonnes de guidage de la cabine supérieure.

Dans ces mêmes colonnes passent les câbles de suspension de la cabine inférieure.

Les cylindres et les pistons sont en tôle d'acier rivée sauf une certaine longueur des pistons qui est en fonte afin d'obtenir la charge nécessaire à l'enlèvement des voyageurs de la cabine suspendue.

Équilibre du système.

La section de chaque piston est de 0,0800 m^2 soit, 0,16 m^2 pour les deux, leur poids est de 19 200 *k*.

Si on suppose que la cabine suspendue soit vide, et équilibre seulement le poids mort de l'autre cabine chargée de 4 000 *k* de voyageurs, au départ de l'étage intermédiaire, la sous pression nécessaire pour déterminer la mise en marche de l'appareil devra correspondre à

$$19\,200 + 4\,000 = 23\,200\ k.$$

L'eau étant fournie par un réservoir placé à 160 *m* au-dessus du fond du cylindre, il en résulte que la pression réelle sous le piston atteint

$$1\,600 \times 16 = 25\,600\ k.$$

La différence :

$$25\,600 - 23\,200 = 2\,400\ k$$

représente les frottements et les pertes de charge.

A mesure que les pistons sortent des cylindres, leur poids augmente, mais les câbles qui agissent du côté opposé rétablissent l'équilibre.

Sécurité.

Les câbles doivent peser 80 *k* par mètre,

Soit au total $80 \times 160 = 12\,800\ k$.

La section des fils métalliques qui les composent représente environ 10 000 mm^2.

Si nous supposons la cabine inférieure pleine de voyageurs et pesant 8 500 *k*.

La charge totale que les câbles auront à supporter sera de

$$12\,800 + 8\,500 = 21\,300\ k.$$

à répartir sur 10 000 mm^2 ou 2,13 *k* par millimètre carré de section de fil d'acier qui résiste facilement à 100 *k* de traction.

Il s'ensuit que la sécurité de cet appareil est absolue.

Frein Backman.

Cependant, pour inspirer toute confiance aux personnes qui ne peuvent soumettre au calcul l'ascenseur dont il vient d'être question ou qui conserveraient encore des appréhensions, on installera de chaque côté de la cabine suspendue un frein du système Backman qui présente les dispositions suivantes.

Chaque colonne de guidage de la cabine inférieure porte intérieurement une saillie héliçoïdale dans laquelle circule (comme une vis à long pas dans son écrou) un fuseau tournant autour d'un axe.

Des galets disposés d'espace en espace autour de l'hélice en saillie du fuseau le rendent très mobile et lui permettent de suivre sans résistance soit en montant, soit en descendant, le mouvement de la cabine auquel il est attaché.

Le haut du fuseau est tourné en forme de tronc de cône et la pièce d'attache à la cabine en possède la contre-partie.

Si nous supposons une chute de la cabine elle ne tardera pas à atteindre le fuseau qui parcourt le chemin héliçoïdal, pendant qu'elle tombe verticalement, les deux cônes en contact détermineront un frottement assez considérable pour que le fuseau cesse de tourner et la cabine se trouvera supportée par les hélices en saillie de la colonne et du fuseau.

Machinerie des ascenseurs.

Il nous reste à parler de l'installation des machines destinées à actionner les appareils que nous venons de décrire.

L'eau sous pression est la seule force motrice permettant d'obtenir la précision et la docilité de manœuvre qui conviennent à des ascenseurs : aussi, tous ceux de la Tour fonctionnent-ils par l'eau.

Des pompes sont placées à cet effet dans le pied sud de la Tour.

Celles qui alimentent les quatre ascenseurs du rez-de-chaussée refoulent l'eau par une conduite de 250 *mm* de diamètre dans deux réservoirs cylindriques de 3 *m* de diamètre et de 7*m* de longueur établis sur la deuxième plate-forme. Ces deux réservoirs sont mis en communication par un gros tuyau de 500 *mm* de diamètre d'où partent les quatre conduites descen-

dantes fournissant l'eau aux cylindres placés dans chaque pied de la Tour.

Au sortir des cylindres, l'eau retourne par des conduites souterraines au réservoir d'alimentation de la pile sud, où les pompes la puisent de nouveau et la remettent en circulation.

L'ascenseur Edoux est desservi par deux pompes Worthington refoulant l'eau jusqu'au troisième étage dans un réservoir de 3 *m* de diamètre et de 4 *m* de hauteur.

Un réservoir semblable recevant l'eau de décharge est placé sur la plate-forme intermédiaire, de sorte que les pompes prennent l'eau à 200 *m* de hauteur et la remontent à 280 *m* ; les conduites en fonte sont renforcées pour résister à cette énorme pression.

Travail et consommation des ascenseurs.

Chaque ascenseur Roux, Combaluzier et Lepape débite un volume d'eau de 8 750 *l* par voyage.

	Litres
Soit pour les deux	17 500
Chaque appareil Otis a besoin également par ascension de 7 850 *l*, soit pour les deux	15 700
Les quatre ascenseurs, ensemble prennent donc. . .	33 200

d'eau sous pression, en une minute, puisque chacun d'eux emploie une minute à la montée.

Et par seconde :

$$33\,200 : 60 = 555\ l.$$

La différence de niveau entre le réservoir de la pile sud et ceux de la deuxième plate-forme est d'environ 135 *m*, en comprenant les pertes de charge.

Le travail absorbé pendant le fonctionnement des quatre ascenseurs du rez-de-chaussée représente ainsi :

$$\frac{555 \times 135}{75} = \frac{74\,925}{75} = 999 \text{ chevaux.}$$

soit environ 1 000 chevaux-vapeur.

L'ascenseur Edoux comporte un débit par seconde de :

$$0{,}1600 \times 0{,}900 = 144\ l.$$

La différence de niveau entre les deux réservoirs, augmentée des pertes de charge, peut être évaluée à 120 *m*.

Le travail d'ascension représente donc pour ce dernier ascenseur :

$$\frac{144 \times 120}{75} = \frac{17\,280}{75} = 230 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Mais en réalité cette force de plus de 1 200 chevaux n'est dépensée qu'à de certains intervalles, au moment de la montée, c'est-à-dire pendant le 1/5 environ du temps employé à effectuer le voyage complet aller et retour.

Les réservoirs accumulent la force motrice durant les arrêts ou la descente et permettent de réduire à moins de 300 chevaux le travail que développent les pompes d'une façon constante.

Les ascenseurs Roux, Combaluzier et Lepape dépensent 17 500 *l* par voyage,

Soit à l'heure :

$17\,500 \times 12 =$ . . . . 210 m^3.

Les ascenseurs Otis dépensent :

15 700 *l* par voyage,

Soit à l'heure,

$15\,700 \times 8 =$ . . . . 125,600 m^3.

Il faut donc :

au total. par heure. 335,600 m^3

Par heure on a :

ou : $\frac{335{,}600\ m^3}{3{,}600} = 93\ l$ par seconde,

pour alimenter les quatre ascenseurs du rez-de-chaussée.

Les deux pompes chargées de ce service fournissent chacune 50 *l* par seconde en marche normale : elles peuvent donner 80 *l* en augmentant leur vitesse.

Leur cylindre à vapeur avec distribution du système Wheelock, mesure 0,600 *m* de diamètre et 1,06 *m* de course ; il actionne directement un plongeur horizontal à double effet du système Girard, dont le diamètre est de 0,290 *m*.

Ces machines sortent des ateliers de Quillacq à Anzin.

Les deux pompes Worthington de l'ascenseur Edoux sont à deux cylindres Compound en tandem ; elles fonrnissent ensemble 44 *l* par seconde en marche normale, ce qui correspond à une dépense de 158,400 m^3 par heure.

Or le volume d'eau nécessaire pour chaque ascension étant

de $0{,}1600 \times 80\ m = 12{,}800\ m^3$, il ne sera consommé par heure que :

$$12{,}800 \times 12 = 153{,}600\ m^3.$$

Une batterie de quatre chaudières inexplosibles, du système Collet, est installée dans le sous-sol de la pile sud, à proximité des pompes à vapeur.

Chaque générateur est capable de produire par heure 1 500 *kg* de vapeur à 10 *kg* de pression.

Trois de ces chaudières suffisent pour assurer le service des pompes en pleine marche ; la quatrième reste en réserve.

NOTE

SUR

LES BALANCES ÉLECTRIQUES

PAR

M. J. PILLET

I

On donne généralement le nom de balances dans une exploitation minière à des appareils destinés à descendre soit des rem blais, soit des boisages ou autres matériaux aux étages inférieurs de l'exploitation.

Ces appareils se composent ordinairement de deux cages, se déplaçant verticalement dans un puits et reliées entre elles par un câble qui s'enroule sur des molettes placées en tête.

Il y a balance, c'est-à-dire équilibre des deux cages, lorsque celles-ci sont à vide, une surcharge quelconque placée dans le véhicule supérieur entraîne tout le système, il devient utile de modérer la descente par l'emploi d'un régulateur approprié.

Ce type a reçu le nom de balance à double effet; la balance à simple effet n'en diffère que par la substitution d'un contrepoids à l'un des véhicules.

Dans un appareil d'extraction, le poids montant est le plus lourd il est donc nécessaire d'opérer une traction verticale pour mettre en marche tout le système; mais ici encore les poids morts des deux cages se font équilibre, nous pouvons dire que nous avons encore dans ce cas, une balance.

Pour montrer l'analogie du système qui nous occupe, avec les balances employées actuellement, nous donnerons la définition générale suivante.

« Si deux véhicules se déplacent sur une trajectoire verticale ou inclinée, de telle sorte que tout mouvement de l'un d'eux

entraîne l'autre dans un mouvement de sens contraire; que de plus, le travail effectué par le véhicule descendant soit utilisé en tout ou partie pour l'ascension du second véhicule, on forme un système de balance. »

La forme pratique la plus généralement adoptée pour la liaison des deux mobiles, consiste en un câble qui s'enroule sur des molettes placées en tête de la trajectoire et dont les extrémités sont attelées au véhicule.

On peut diviser les balances existantes en deux groupes.

1°. — Le poids doscendant l'emporte toujours sur le poids montant. Tout le système tend à prendre un mouvement uniformément accéléré, on règle alors la marche par l'emploi de freins ou de régulateurs de divers types.

Ce sont : les balances pour mines, les funiculaires à contrepoids d'eau, etc.

2° — Le poids montant est le plus lourd dans la majorité des cas. Il faut alors obtenir la marche du système par l'emploi d'un organe mécanique.

a. — On peut exercer une traction sur le câble d'équilibre. Monte-charges, appareils d'extraction pour mines, chemins de fer funiculaires, etc.

b. — On peut exercer une poussée sur le véhicule le plus lourd. Ascenseurs, monte-charges hydrauliques, etc.

c. — Enfin, un moteur placé sur le véhicule, prendra son point d'appui sur la trajectoire, soit par simple adhérence, soit par l'emploi de crémaillères.

Considérons ce dernier type et appliquons-lui un dispositif qui nous permet de remplacer la liaison par câble d'équilibre par une liaison électrique remplissant le même but ; nous aurons réalisé la balance électrique.

Un tel système présente l'avantage de pouvoir se prêter à toutes les sinuosités d'un tracé, à toutes les variations de déclivité d'un profil en long.

II

Description. — Le système se compose (*fig. 1*) de deux véhicules identiques G et D, qui se déplacent en sens inverse suivant la même trajectoire. En marche normale la vitesse doit être la même pour chacun d'eux ; puisqu'ils doivent parcourir dans le

même temps des chemins égaux (1). Un circuit est placé dans l'entre-voie, deux autres circuits sont établis l'un à droite, l'autre à gauche de la voie.

Chaque véhicule porte deux dynamos *m* et *d* qui actionnent simultanément le même essieu moteur.

m peut :

Ou communiquer avec *M*, dynamo génératrice de l'usine, par le circuit intérieur ;

Ou se monter en série avec *d*.

Les dynamos *d* communiquent toujours entre elles : il en résulte que le circuit intérieur sert de liaison : — entre d_1 d'une part m_2 et d_2 d'autre part ou inversement entre d_2 d'une part m_1 et d_1 d'autre part.

2 Rhéostats sont montés sur les circuits extérieurs (*r*).

2 Galvanomètres *g* sur le circuit intérieur.

L'on peut faire les remarques suivantes :

Les deux circuits extérieurs travaillant successivement, on peut les remplacer par un seul placé dans l'entre-voie. Les Balances ont généralement une faible longueur, il est donc possible de prendre la terre comme fil de retour ; il ne reste plus dans ce cas que deux conducteurs électriques ayant même longueur que celle de la ligne, nous sommes par suite dans les conditions ordinaires d'un transport d'énergie électrique.

Supposons que le système soit mis en mouvement : — le véhicule D, *fig. 1*, produit en descendant, un certain travail ; — ce travail est consommé, en partie par des résistances nuisibles, en partie par la dynamo d_1, du véhicule G.

La dynamo d_1, en tournant, entraîne G dans un mouvement ascendant, avec une vitesse déterminée.

La vitesse ainsi obtenue pour le véhicule inférieur peut être trop faible ; il faut alors demander à la dynamo m_1, un travail complémentaire suffisant, pour obtenir la vitesse voulue.

Le travail étant fourni à m_1 par la Génératrice M de l'usine, et celle-ci produisant une certaine somme d'énergie qui ne dépend que de la puissance du moteur qui la commande, — on peut concevoir que l'emploi du rhéostat r_1 nous permettra de donner aux véhicules G et D et pour chaque hypothèse de surcharge, des valeurs convenables pour leurs vitesses respectives.

(1) **En pratique, il sera difficile de donner des vitesses rigoureusement égales aux deux véhicules, il y aura intérêt à rendre ces vitesses aussi peu différentes que possible, et à attribuer la plus grande vitesse au véhicule montant.**

Le rhéostat r_1 étant le régulateur du système, il en résulte que le mécanicien montant est seul chargé de la manœuvre.

L'économie du système résulte de la récupération du travail fourni par le véhicule descendant. La machine M de l'usine n'ayant plus à fournir que la différence entre le travail total nécessaire pour la progression de G et le travail récupéré.

III

Nous avons cherché à nous rendre compte, d'une façon plus complète, des conditions de fonctionnement d'un système de balance électrique.

L'emploi des caractéristiques des dynamos nous a semblé avantageux pour représenter le jeu combiné des deux véhicules; nous donnons dans ce chapitre un essai, établi dans cet ordre d'idées :

Nous admettrons :

1° — Que les surcharges des véhicules sont constantes;

2° — Que l'inclinaison et la courbure de la trajectoire sont constantes.

Nous adopterons les symboles suivants :

e — Force électro-motrice de m_2, d_2 réunies.
e_1 — » » de d_1
e_2 — » » de m_1
E — » » de M
i — Intensité du courant, dans le circuit intérieur.
I — » » » extérieur.
R — Résistance électrique de la ligne intérieure, y compris les résistances des dynamos m_2 d_2 et d_1. — Nous supposons R constant; ce qui revient à admettre que la résistance variable de la ligne est compensée par une résistance additionnelle, au fur et à mesure du déplacement des deux véhicules.
R′ — Résistance électrique de la ligne extérieure, y compris les résistances des dynamos m_1 et M. — Nous admettons R′ constant.
x — Résistance électrique du rhéostat r_1.

Nous nous maintenons dans l'hypothèse représentée par la *figure* 1.

Lorsque le véhicule D descend sur la trajectoire, il effectue un certain travail ; celui-ci est fonction : de la surcharge du véhicule, de l'inclinaison et des sinuosités du Tracé, ainsi que de la vitesse à l'instant considéré.

La vitesse étant v, par suite de la transmission mécanique qui relie l'essieu moteur à l'arbre des dynamos, cette vitesse correspond à un nombre de tours n, par seconde pour les bobines des dynamos m_2 et d_2.

Nous pouvons donc dire indifféremment que le travail produit par la chute du véhicule, affecté d'un coefficient de rendement tenant compte de la transformation mécanique et des résistances secondaires de la dynamo (1), est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel à la vitesse v, proportionnel au nombre de tours n par seconde.

Considérons les dynamos m_2, d_2 comme ne représentant qu'une seule et même machine ; supposons tracées sur l'épure ci-contre, (fig. 1), les caractéristiques correspondant aux allures n n' n'' n'''..., (2) Supposons tracées également les hyperboles correspondant au produit $e\ i$ = constant, ou $x\ y$ = K pour les vitesses v, v', v''..., c'est-à-dire par suite pour n, n', n''...

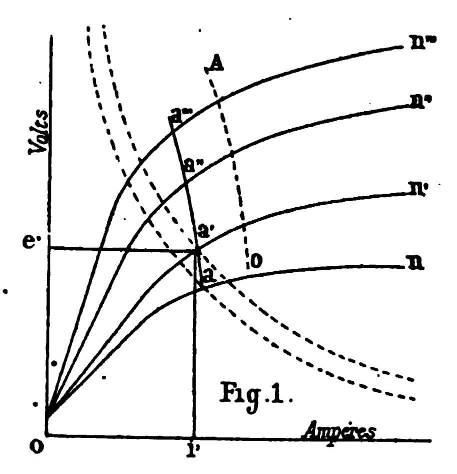


Fig.1.

A l'allure n' par exemple, la caractéristique et l'hyperbole correspondantes se rencontrent en a', — pour que l'équilibre existe, c'est-à-dire que la vitesse de D se conserve uniforme, il faudra que la dynamo produise par seconde, une énergie électrique représentée par le produit

$$e'\ i'$$

Pour une autre vitesse, nous aurions un autre point tel que a, le lieu des points a détermine donc les valeurs respectives de e et de i, pour les différentes valeurs de n et pour la même surcharge.

(1). — Ce coefficient est supposé constant pour plus de simplicité.

(2). — La caractéristique est ici la courbe indiquant la relation entre la force électromotrice totale et l'intensité du courant général, pour une même allure de la machine. Les échelles des abscisses et des ordonnées sont égales, la surface du rectangle $e\ i$ représente, par suite, le nombre de watts produits ou absorbés.

Si la surcharge venait à varier, il faudrait considérer une courbe analogue telle que *o*A par exemple.

Remarque. — Si pour une machine donnée ; l'intensité du courant étant constante, les forces électro-motrices étaient rigoureusement proportionnelles aux allures de la machine, la courbe *a* serait une droite perpendiculaire à *oi*; ce qui revient à dire que pour une surcharge de D, l'intensité du courant serait constante, quelle que soit la vitesse.

L'équation générale du transport de l'énergie électrique appliquée au circuit intérieur est

$$ei = Ri^2 + e_1 i \ (1)$$

L'intensité du courant qui circule est :

$$i = \frac{e-e_1}{R} \ (2)$$

Si toute l'énergie produite par la génératrice est consommée, c'est-à-dire si l'équation (1) est satisfaite ; il en résulte que, en vertu de (2). — l_1 a une valeur entièrement déterminée ;

Si sur une seconde épure, nous avons rapporté le faisceau des caractéristiques n_1. n'_1. n''_1... correspondant à la dynamo d_1.

Puisque pour une valeur déterminée n' tours pour la dynamo m_2 d_2, e'_1 et i' sont déterminés, nous obtiendrons pour la dynamo d_1 un point b' qui nous fera connaître la vitesse que prendrait cette dynamo si aucune autre liaison n'existait et si le travail demandé au moteur par seconde correspondait bien au produit

$$e'_1 \, i'.$$

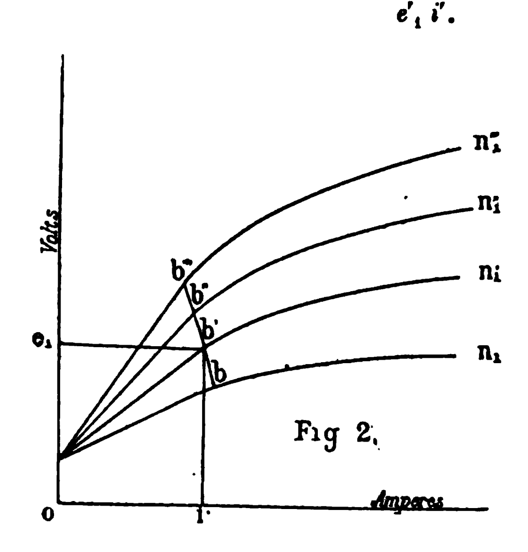


Fig 2.

Le système serait en équilibre, D et G conserveraient respectivement les vitesses n' et n'_1.

Le lieu des points *b* est une courbe correspondant à la courbe des points *a* de l'épure précédente (fig. 2).

Considérons maintenant la liaison entre m_1 et M.

Soit le faisceau des caractéristiques de m_1, pour les allures n_1, n'_1,

n''_1..., les mêmes que celles de la deuxième épure (fig. 3).

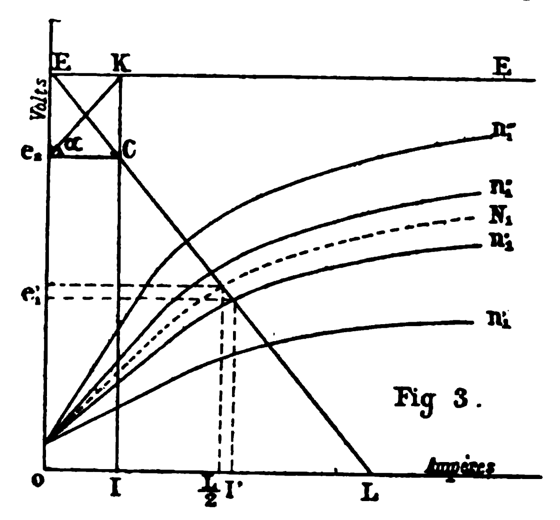


Fig 3.

La force électro-motrice de M est supposée constante, elle sera représentée sur l'épure par la droite $\varepsilon\varepsilon'$.

Le courant sera donné par la relation.

$$I = \frac{\varepsilon - e_2}{R' + x}$$

Posons $R' + x$ = Constant et $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\varepsilon - e_2}{I} = R' + x$.

Le triangle Ke_2 C est tel que l'on ait $\operatorname{tg} ke_2 C = \operatorname{tg} \varepsilon = R' + x$.

Il suit de là, que l'on a $KC = (R' + x) I$ et $CI = e_2$.

Le lieu des points C est la droite ε CL, — La rencontre de cette droite et des diverses caractéristiques donne pour chaque vitesse, l'activité correspondante du moteur. Cette activité est représentée par la surface du rectangle inscrit à l'intérieur du triangle ε o L.

On sait que cette surface passe par un maximum pour $I = \frac{o\ L}{2}$ c'est-à-dire pour la vitesse N_1.

Si l'allure de l'arbre des dynamos m_1 et d_1 est n'_1, l'activité correspondante, pour la résistance $R' + x$ sera pour la dynamo m_1 représentée par le produit.

$$e'\ I'.$$

Comparons les épures 2 et 3, pour que l'équilibre existe et que les vitesses des deux véhicules soient constantes et respectivement égales à n' et n'_1, il suffit que l'on ait.

$e_1\ i' + e'_2\ L' =$ { Le travail dépensé, pour la progression de G, à la vitesse v'_1 correspondant à l'allure n'_1 des dynamos m_1 et d_1.

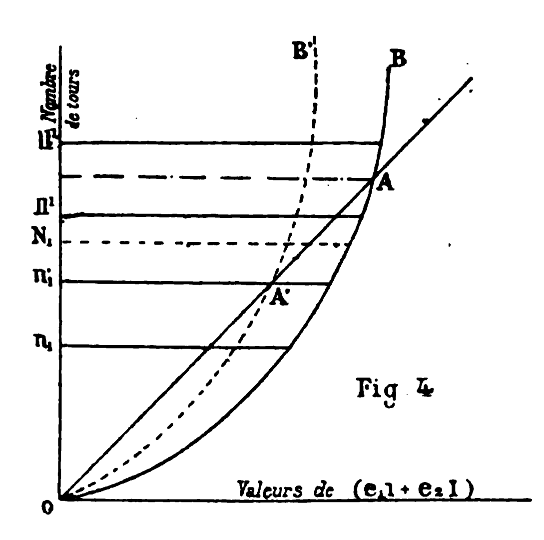
Portons maintenant sur deux axes de coordonnées, les vitesses n_1, n'_1, n''_1..... en ordonnées; et pour les abscisses correspondantes, les valeurs de l'expression.

$$e_1\ i + e_2\ I$$

qui résultent des deux dernières épures. On obtient aussi une courbe telle que oA, B. Cette courbe présente un genou correspondant au point N_1, en effet, pour des vitesses du véhicule G, inférieurs à N_1, les expressions $e_1\ i$ et e_2 I croissent en même temps. — 2 et 3° Épure. A partir de N_1, $e_1\ i$ croît.

e_2 I décroît.

Il résulte de ceci un redressement de la courbe (fig. 4.)



Si le véhicule G consommait pour son déplacement sur la trajectoire, à des vitesses correspondantes aux allures n_1, n'_1, n_1''.... une somme de travail par seconde représentée par les valeurs de :

$$e_1\ i + e_2\ I\ (4)$$

l'équilibre aurait lieu pour une série de valeurs respectives de n et de n_1, mais il n'en est pas ainsi.

Le travail demandé par G pour sa progression est proportionnel à n_1, n'_1, n''_1...; et cette condition peut s'exprimer sur l'épure par une droite convenablement inclinée, O A.

Cette droite rencontre la courbe au point A correspondant à la vitesse N'_1.

Il résulte de l'examen de cette dernière épure :

1° — Il n'y a qu'un seul équilibre possible, qui correspond aux allures respectives des dynamos de D et G ; N' et N'_1 ;

2° — Pour les vitesses inférieures à N'_1, l'expression (4) est toujours supérieure, pour une vitesse donnée, au travail nécessaire

pour la progression de G. à cette vitesse. Il en résulte que la vitesse croît;

3° — L'accroissement de vitesse de G a pour résultat de permettre un accroissement de vitesse de D. Le travail électrique absorbé dans l'unité de temps étant inférieur au travail mécanique disponible sur l'arbre des dynamos $m_2\, d_2$, il y a donc accélération;

4° — Les vitesses supérieures à N'_1 sont impossibles : en effet, admettre le contraire serait supposer : pour G — un travail électrique fourni inférieur au travail mécanique absorbé.

Il y a donc un état d'équilibre stable qui correspond aux vitesses N'_1 et N'.

Ces vitesses ne sont pas en général celles que nous désirons ; si l'on se reporte à la 3e épure, on voit que l'on peut faire varier x, et par suite l'inclinaison de la droite ε L, de telle sorte que nous obtenions sur la 4e épure une courbe O A′ B′ rencontrant la droite O A au point A′ correspondant à la vitesse convenable n'_1.

D'autre part, les dynamos $m_2\, d_2$ et d_1 sont établies de telle sorte que, pour les différentes hypothèses de surcharges, la vitesse de D soit égale ou même légèrement inférieure à n'_1.

La manœuvre se réduit donc à maintenir au véhicule G une vitesse de régime n'_1, quelles que soient du reste les surcharges, et ce résultat s'obtient par le jeu du rhéostat r_1.

Puisque pour chaque état d'équilibre correspond pour i une valeur déterminée, les deux galvanomètres g peuvent donc servir d'indicateurs de marche, et prévenir les mécaniciens des deux véhicules de la rupture de l'équilibre par l'indication d'une valeur anormale de l'angle de déviation α.

Si nous admettons que le véhicule D s'arrête brusquement, i devient nul et l'angle de déviation α, des galvanomètres est nul également.

Si G s'arrête, i prend une valeur exagérée à laquelle correspond une déviation anormale de α.

Dans les deux hypothèses : les mécaniciens prévenus doivent agir en conséquence : c'est-à-dire immobiliser les deux véhicules en ayant recours à des organes de secours : freins et peignes d'arrêt.

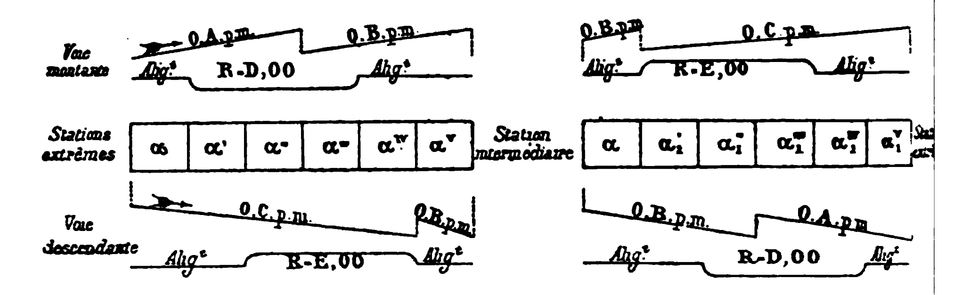
IV

Nous nous sommes placés dans un cas particulier, qui nous a permis de nous rendre compte approximativement d'une Balance électrique.

En pratique, l'inclinaison et la courbure de la trajectoire ne sont pas constantes ; les surcharges ne sont constantes qu'entre deux stations consécutives.

Considérons le diagramme suivant, représentant les deux voies d'une ligne accidentée et possédant une station intermédiaire placée à la moitié du parcours total.

Les deux véhicules se déplacent de la gauche vers la droite.



Il résulte de ce qui précède, que pour chaque tronçon de ligne correspondant à une hypothèse donnée de surcharges, de pente et de courbe de la voie : l'angle α prend une valeur déterminée, correspondant à l'état d'équilibre du système.

Les véhicules se déplaçant en même temps vers la droite, nous voyons que α passera pour chaque tronçon par des valeurs α', α''..... Il est donc possible, le mécanicien montant ayant établi l'équilibre du système pour la vitesse de régime de G dans le premier tronçon, de déterminer les valeurs successives que devra prendre α, si l'on veut que cette vitesse de régime se maintienne uniforme pendant tout le parcours.

Il est par suite possible de munir les mécaniciens de tableaux ou graphiques de marche, donnant la série des valeurs de α correspondantes à une valeur initiale qui ne dépend que des surcharges au départ et de la vitesse de régime dans le premier tronçon.

L'apparition d'une valeur anormale de α, indiquera donc, aux mécaniciens, une rupture de l'équilibre du système.

V

Il peut se présenter certains cas où il soit absolument impossible d'établir deux voies parallèles : la Balance telle qu'elle vient d'être décrite est irréalisable. — Nous pouvons. par simple analogie, établir un système qui permettra de récupérer le travail fourni par la descente du véhicule.

Le véhicule D identique aux précédents sera placé entre deux circuits ; l'un, celui de droite, communique avec une batterie d'accumulateurs A ; l'autre, celui de gauche, avec une dynamo génératrice M placée à l'usine. *(Fig. 1.)*

A la descente, m_1 d_1 sont montées en série, sur le circuit de droite. — Le travail effectué par la descente sert à la charge de la batterie, celle-ci joue donc le rôle de frein.

A la montée, chaque dynamo est montée sur un circuit ; — M et A produisent la progression ascensionnelle du véhicule.

L'économie réalisée dans ce cas particulier est faible ; c'est à la pratique à déterminer si cette économie compense les frais d'achat et d'entretien de la batterie, ainsi que l'emploi du second circuit correspondant.

Les figures 2, 3, 4 se rapportent à l'application du principe de la Balance au cas particulier suivant.

Sur un plan incliné de 0,17 *m* par *m*, formé de deux voies parallèles, à crémaillère centrale et de 10 *km* de long, se déplacent les deux véhicules : ceux-ci peuvent transporter 32 voyageurs à la vitesse de 3 *m* par seconde ; leur poids mort, moteurs et transmission compris, est de 6 680 *kg.*

Les figures 2, 3, 4 montrent les dispositions générales adoptées. Un châssis C porte les deux dynamos, la transmission mécanique et les organes de secours. La caisse du véhicule, avec sa cabine de manœuvre établie en porte-à-faux du côté de la vallée, repose sur le châssis C par l'intermédiaire de ressorts de suspension.

Pour maintenir la résistance électrique du circuit intérieur constante, celui-ci est formé par les deux rails intérieurs des voies, reliés en boucle à l'une des extrémités de la ligne. Les véhicules marchant en sens inverse et à vitesses égales, la longueur du conducteur ainsi que sa résistance électrique restent constantes.

Le circuit extérieur doit permettre le croisement des collecteurs, figures 3 et 4. Ce résultat est atteint par l'emploi d'un conducteur placé dans l'entre-voie, posé à plat sur de petits supports et de forme à double champignon.

L'étude d'un tel système nous conduit à constater pour les fatigues des dynamos *m* et *d* des valeurs très différentes. Tandis que la puissance de *m* devra varier pour les différentes hypothèses admises, de 6 à 48 chevaux, la puissance de *d* se maintiendra entre 30 et 40 chevaux. Enfin, ainsi qu'il était facile de le prévoir, l'emploi du rhéostat *r*, pour la manœuvre du système, peut abaisser le rendement industriel du circuit extérieur de 58 à 30 0/0 le rendement du circuit intérieur conservant une valeur sensiblement constante et égale à 53 0/0.

CONCRÉTIONS DE NATURE FERRUGINEUSE

OBSERVÉES

DANS LES GÉNÉRATEURS

PAR

M. J. PAULY

Les causes principales de détérioration des chaudières à vapeur sont, d'après M. J. Pauly, les suivantes :

1° Mauvaise qualité des matières et mauvaise construction ;

2° Ouverture des portes du foyer sans avoir pris la précaution de fermer les registres ;

3° Variation trop brusque dans l'allure du feu.

Les causes les plus fécondes en accidents proviennent surtout des coups de feu. Elles sont déterminées par le mauvais fonctionnement des appareils : indicateurs de niveau d'eau, ou par l'incurie du chauffeur, et consistent dans un abaissement anormal de l'eau dans les chaudières.

Les coups de feu peuvent encore provenir des incrustations des chaudières et provoquer de véritables explosions.

D'autres causes d'explosion existent encore, telles que l'inflammation spontanée à l'extérieur du gaz oxyde de carbone, ou de l'hydrogène carboné mêlé à l'oxygène de l'air.

La décomposition, dans des conditions particulières, d'une certaine quantité d'eau en ses éléments : oxygène et hydrogène recomposés spontanément sous l'influence de l'électricité rendue libre par la vaporisation.

L'arrivée subite d'air dans la chaudière, alors que l'eau en était privée.

Mais c'est surtout l'état sphéroïdal qui occasionne les plus grands désastres.

Cet état peut être déterminé, soit par un abaissement de l'eau

au-dessous du niveau des carneaux, soit par l'emploi de charbons maigres à courte flamme et provoquant avec la chaleur intense du métal une crépitation des dépôts calcaires ou siliceux. L'eau se trouvant subitement en contact avec la partie du métal à très haute température, se constitue à l'état sphéroïdal et crée, par ce seul fait, un danger qu'il est difficile de conjurer.

En dehors des causes désorganisatrices des générateurs exposés ci-dessus, M. Pauly a eu l'occasion d'observer, dans des bouilleurs, la formation de concrétions particulières corrodant la tôle avec rapidité, et dont la formation doit être attribuée à l'introduction en excès de l'air avec l'eau d'alimentation. Voici les faits :

Vers la fin de novembre 1878, en visitant un générateur de la fosse n° 5 de la Compagnie de Béthune, notre attention fut attirée par des dépôts abondants, placés dans les bouilleurs, vers leur partie antérieure et dans le bas. Nous avions eu l'occasion de voir assez souvent, des dépôts d'apparence similaire, mais presque imperceptibles, et du reste, en petite quantité, que nous ne nous en étions pas préoccupé.

Une visite faite huit jours après, sur une autre chaudière arrêtée pour être nettoyée, nous montrait, dans les bouilleurs, des concrétions de même nature, en plus grand nombre peut-être, et non moins volumineuses.

Enfin, le 1er janvier 1879, jour de chômage, ayant fait arrêter toutes les chaudières nous avons pu nous convaincre que tous les bouilleurs étaient fortement corrodés. Les dépôts, toujours placés du côté de la partie antérieure vers le bas, étaient constitués par une matière rouge brunâtre, résistante, assez semblable au protoxyde ou au peroxyde de fer. Ils affectaient la forme ellipsoïdale aplatie, plus ou moins allongée, en saillie sur la tôle, suivant une épaisseur plus grande, en général, que celle de la partie incrustée dans l'épaisseur corrodée du métal. Cette constatation faite, et après avoir eu le soin de faire décaper les parties rongées jusqu'au vif de la tôle, nous nous sommes, on le comprend, vivement préoccupé de chercher la cause de ces concrétions.

Quelle était leur nature ? Sous quelle influence agissait le corrosif ? D'où venait-il ? Telles ont été les questions que nous nous sommes posées, et qui ont donné lieu, avant de trouver une réponse satisfaisante, à plusieurs hypothèses, que nous indiquerons très brièvement. Il ne sera pas inutile de donner préalablement une description sommaire des générateurs, et du mode d'alimentation suivi à cette époque.

La batterie de chaudières, installée à la fosse n° 5, de la Compagnie de Béthune, comprenait cinq générateurs à bouilleurs, dont quatre marchaient simultanément, pendant que le cinquième était nettoyé, d'après un roulement comportant l'arrêt successif de chacun d'eux.

La grille étant placée sous le corps principal du générateur, le premier parcours de flammes se faisait sous ce dernier, et les deux autres, successivement autour des bouilleurs. La chaudière avait un diamètre de 1,30 *m*, et une longueur de 12,60 *m*; elle était reliée à chaque bouilleur par deux communications, placées respectivement à 0,60 *m* et à 2,50 *m* de l'extrémité de la partie postérieure. Le diamètre de ces derniers était de 0,70 *m*, et leur longueur de 11,05 *m*; ce qui donnait une surface de chauffe effective de 75 m^2 par générateur.

Une bâche, spécialemént disposée à cet effet et dans laquelle débouchaient les tuyaux d'échappement, recevait l'eau destinée à l'alimentation; eau provenant, à peu près par parties égales, de l'eau d'épuisement de la fosse à 190 *m* du sol, et d'un puits de 30 *m* creusé dans le calcaire. L'eau était donc chauffée par son contact immédiat avec la vapeur, avant d'être introduite dans les générateurs. Cette introduction se faisait rationnellement, en sens inverse de la direction des gaz chauds, à la partie antérieure des bouilleurs, par un orifice circulaire de 65 *mm* de diamètre, placé tangentiellement à la génératrice inférieure; et c'est dans cette partie du bouilleur, non loin de l'orifice, que les concrétions étaient les plus abondantes.

La pompe alimentaire n'avait rien de particulier. Elle était horizontale, avec piston à segments métalliques, et clapets hémisphériques guidés; son emploi était presque continuel; ce n'est guère que dans les cas, d'ailleurs très rares, de dérangement, qu'on employait un injecteur Giffard, mis, à cet effet, en communication avec les tuyaux alimentaires.

Cela posé, la première hypothèse qui se serait présentée à l'esprit aurait tendu à faire admettre, que ces concrétions étaient produites par le désincrustant employé couramment dans nos générateurs. Il entre souvent dans la composition de ce produit des acides capables de corroder le métal, quand ils sont en proportion trop forte. Or, nous en avions complètement interrompu l'emploi à cette fosse, depuis le commencement du mois de septembre; la dernière livraison avait été faite, par les magasins, le 20 août. D'ailleurs, les autres générateurs de la Compagnie, pour

lesquels l'emploi du même désincrustant continuait à se faire, à la dose de 0,50 *kg* par mois et par cheval-vapeur, n'avaient pas éprouvé la plus légère altération.

Une autre supposition, qui pouvait paraître au premier abord assez plausible, devait être elle-même rejetée. Elle consistait à attribuer le mal aux oléates, et autres composés provenant des huiles et des graisses acides, employées à la lubrification des machines. Ces produits pouvaient être entraînés par la vapeur d'échappement dans la bâche alimentaire, et refoulés, de là, dans les bouilleurs par la pompe d'alimentation; cependant la disposition sur la bâche des tuyaux de prise d'eau, placés vers sa partie inférieure, et la condition de maintenir l'eau au-dessus d'un certain niveau, rendaient encore cette supposition peu vraisemblable; et ce qui la rendait tout à fait inadmissible, c'est que la même huile, la même graisse employées dans les autres machines, parmi lesquelles plusieurs avaient les appareils disposés d'une manière analogue, laissaient les bouilleurs en parfait état.

Fallait-il admettre que l'eau, jusque-là très bonne à l'alimentation, et jouissant d'une complète innocuité, avait subitement changé de nature! Telle ne fut pas notre pensée, et les faits nous donnèrent raison. Nous employâmes séparément, d'abord l'eau du puits de 30 *m* durant un certain temps, puis, encore seule, l'eau d'épuisement de la fosse pendant le même temps. Le résultat fut toujours le même; il y eut toujours formation de nouvelles et de plus fortes concrétions.

Dès ce jour nous nous arrêtâmes à la pensée, que des rentrées possibles d'air, avec l'eau d'alimentation, étaient capables de produire ces corrosions, en déterminant une oxydation du métal. Néanmoins, un premier examen de la conduite d'alimentation, ne nous fit découvrir aucune fuite par les joints, aucune trace de fissures sur les tuyaux.

Pendant ce temps nous avions fait procéder à l'analyse des eaux d'alimentation, et en voici les résultats :

Eau du puits de 30 *m* dans le calcaire.
Titre hydrotimétrique 16°.

Composition par litre :

Chaux	0,101 *gr*
Magnésie	0,015
Sodium.	0,007
Oxyde de fer	0,006
Silice ($Si\,O^2$) soluble	0,004
Acide sulfurique (SO^3)	0,010
Chlore	0,013
Acide carbonique	0,091
Matières organiques	0,004
Résidu sec par litre	0,251 *gr*

Ce qu'on peut interpréter comme il suit :

Carbonate de chaux	0,169 *gr*
— de magnésie	0,031
Sulfate de chaux.	0,017
Chlorure de sodium	0,020
Oxyde de fer	0,006
Silice soluble	0,004
Matières organiques	0,004
Poids de matière sèche par litre	0,251 *gr*

Eau d'épuisement du fond de la mine, à 190 *m* du sol.
Titre hydrotimétrique 10°

Composition par litre :

Potassium (K).	0,056 *gr*
Soude ($Na^2\,O$)	0,521
Chaux	0,028
Magnésie	0,016
Chlore	0,048
Acide sulfurique ($S\,O^3$)	0,249
Silice ($Si\,O^2$)	0,012
Acide carbonique	0,280
Matières organiques	0,010
Résidu sec par litre	1,220 *gr*

Ce qu'on peut interpréter comme il suit:

Chlorure de potassium	0,098 *gr*
Carbonate de soude	0,549
Sulfate de soude	0,442
— de chaux	0,068
— de magnésie	0,032
Silicate de soude	0,015
— de potasse	0,006
Matières organiques	0,010
Poids de matières sèches par litre . .	1,220 *gr*

Après avoir constaté, par l'analyse, que les eaux employées étaient propres à l'alimentation et que les bouilleurs continuaient à se corroder, il fallait bien, pourtant, découvrir la cause tant cherchée ; car, la marche de la machine, et par suite les travaux d'exploitation auraient pu devenir fort compromis.

C'est dans ces dispositions, que nous avons procédé à un nouvel examen, aussi minutieux que possible, des tuyaux d'aspiration, et que nous avons, enfin, constaté une rentrée d'air à la partie inférieure d'un joint ovale, dissimulé dans un conduit horizontal, très étroit. Notre opinion se trouvait, dès lors, fortifiée; elle a fait bientôt place à une quasi-certitude, dès que nous avons connu la composition de la matière extraite des parties corrodées, laquelle a donné, à l'analyse, les résultats suivants :

Carbonate de chaux.	2,21
— ferreux	47,45
Oxide magnétique.	27,06
Sesquioxyde	20,48
Humidité	2,80
	100,00

Enfin, notre conviction s'est encore fortifiée, pour devenir définitive, quand, après avoir décapé les parties atteintes jusqu'au vif de la tôle, et après avoir refait soigneusement le joint, nous n'avons plus constaté aucune trace d'altération dans les bouilleurs, bien que les conditions d'alimentation et de graissage fussent les mêmes.

Ainsi que nous l'avons dit, le corps principal des chaudières ne portait aucune trace de concrétion ; les bouilleurs seuls étaient fortement atteints; tous dans la partie demi-circulaire inférieure,

et plus abondamment à l'avant, du côté de la partie antérieure, par laquelle arrivait l'eau d'alimentation. On ne trouvait plus de trace de concrétions après les communications ; les plus grandes avaient 120 *mm.* de longueur, et 40 *mm.* de largeur, avec une profondeur dans la tôle, qui atteignait parfois 6 et même 7 *mm*, ce qui réduisait cette tôle à une épaisseur de 5 à 6 *mm.* Nous avons dû, dans ces parties, percer des trous, et placer des rivets, au nombre de près de 160.

Durant le cours de nos investigations, nous avons appris que des altérations de même nature, avaient été observées ailleurs, dans un rayon rapproché, sans que l'on ait pu en découvrir la cause ; aussi, croyons-nous être utile à quelques-uns, en la signalant dans toute sa simplicité ; il suffit, comme on le voit, de l'énoncer, pour en trouver aussitôt le remède.

Comment la présence de l'air peut-elle amener de tels résultats dans les bouilleurs, et provoquer une détérioration aussi rapide ? Il serait difficile sans d'autres indications, de répondre d'une manière péremptoire à cette question, et l'on doit forcément rester dans le champ des hypothèses.

La matière extraite des parties corrodées a donné la composition suivante :

Carbonate de chaux	2,21
— ferreux	47,45
Oxyde magnétique	27,06
Sesquioxyde	20,48
Humidité	2,80
	100,00

Il semblerait donc, *a priori*, qu'il se produit une vraie oxydation, dans laquelle l'air introduit avec l'eau a dû fournir l'oxygène. Cette détérioration, au reste, suit comme toutes les oxydations, une marche de plus en plus rapide dès qu'elle a commencé, et, comme dans celles-ci, elle est vraisemblablement favorisée par la température et par la pression.

Si l'on admet la supposition que, sous l'influence des phénomènes physiques qui se produisaient dans les générateurs, non seulement l'air était décomposé, mais qu'il se produisait aussi une décomposition partielle de vapeur, il serait permis d'en inférer une formation d'acide hypoazotique ($Az\,O^4$) et d'ammoniaque ($Az\,H^3$), auxquels il serait naturel d'attribuer les corrosions

observées. L'azote et l'oxygène de l'air peuvent se combiner en présence de la vapeur d'eau, sous l'influence de l'électricité rendue libre par le fait de la vaporisation, pour donner de l'acide azotique ; et celui-ci, en s'unissant à l'ammoniaque, forme l'azotate d'ammoniaque.

On peut admettre encore, — et cette opinion à laquelle nous sommes enclin à nous arrêter, n'exclut pas la précédente dans tout ce qu'elle contient, — on peut supposer que, grâce à la présence de l'électricité, il y avait dans la chaudière formation d'ozone. On sait que ce gaz possède un pouvoir oxydant très énergique, capable d'agir même à froid sur l'argent, et qu'il change le gaz ammoniac en acide azotique, un corrosif très puissant quand il est un peu étendu.

Ainsi s'expliquerait, d'autre part, la position des concrétions placées toutes à la partie inférieure des bouilleurs ; car, la densité de l'acide azotique (1,522), est notablement supérieure à celle de l'eau. En attribuant au contraire les corrosions à l'action directe d'un gaz, on explique difficilement leur position dans cette partie.

Quoi qu'il en soit, l'explication des phénomènes chimiques et physiques qui peuvent se produire dans les générateurs de vapeur, n'a pour l'industriel qu'un intérêt secondaire. L'essentiel pour lui est de les empêcher de se former, et d'éviter par là, quelquefois des accidents de personnes, toujours des pertes matérielles, doublement onéreuses par le chômage qu'elles occasionnent, et par l'obligation de renouveler le matériel.

NOTE

SUR

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

DE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889

PAR

M. DE BOVET

M. Charton a fait récemment, devant la Société des Ingénieurs civils (séance du 5 avril 1889) une très remarquable communication sur l'Exposition universelle de 1889. S'étant donné pour tâche de parcourir l'ensemble des installations, il s'est trouvé obligé de marcher à grands pas, et a pu, tout en épuisant son programme, laisser place après lui à bien des études de détail intéressantes.

Beaucoup d'installations, en effet, méritent plus qu'un simple coup d'œil, et celles de l'éclairage électrique sont certainement de ce nombre. Organisées par les soins d'un groupe d'électriciens, réunis sous le nom de « Syndicat international des électriciens », elles présentent une si grande importance dans leur ensemble, une si grande variété dans leurs détails qu'il valait, je crois, la peine de compléter les indications fournies sur ce sujet par M. Charton.

Le bureau de la Société m'a encouragé à le faire en me donnant, à raison de l'actualité du sujet, un tour de faveur dont je tiens à le remercier ici, et en faisant insérer au bulletin de la Société une simple communication : la tâche m'a été rendue facile par M. Fontaine qui m'a permis de mettre à profit la conférence si intéressante qu'il a faite récemment devant la Société internationale des Electriciens

M. Charton a, du reste, dans sa communication, si magistrale-

ment décrit la géographie de l'Exposition que je n'aurais garde d'y revenir ; et j'ai, grâce à lui, les meilleures raisons de la supposer assez connue pour pouvoir, sans plus amples détails, dire tout d'abord comment est faite la répartition de la lumière dans les diverses parties du Champ de Mars qui seront ouvertes le soir. Les premiers foyers se trouvent : d'une part, au pont d'Iéna, d'autre part, à la place de l'Alma ; à partir de ces deux entrées, toute la distribution est indiquée par le tableau suivant (1) :

(1) La lettre R veut dire : Régulateur; l'indice qui l'accompagne indique le nombre d'ampères de chaque régulateur.
J veut dire : Bougie Jablochkoff.
L. S. — Lampe Soleil.
I — Lampe à incandescence. L'indice accompagnant la lettre I indique le nombre de bougies de chaque lampe.

RÉPARTITION DE L'ÉCLAIRAGE

	Régulateurs.	Lampes à incandescence.	Carcels.
Passerelle de l'Alma	16 R^{8}		1 600
Galeries de l'Agriculture	24 R^{8}		2 400
Pont d'Iéna	10 J		400
Velums du pont d'Iéna		100 I^{10}	100
Berge. — Quai. — Jardin inférieur. — Jardin central.	104 J		4 160
Terrasses et Escaliers Formigé	32 J		1 280
Fontaine sous la Tour Eiffel	4 R^{25}		1 400
Pelouses des Jardins central et inférieur		3 000 I^{4}	1 500
Magnolias		200 I^{4}	100
Massifs d'arbres		1 000 I^{4}	500
Velums du Jardin central		600 I^{10}	600
Kiosques pour orchestres		100 I^{10}	100
Palais des Arts libéraux (façade Jardin)	31 R^{8}		3 100
— des Beaux-Arts (façade Jardin)	31 R^{8}		3 100
— — (façade La Bourdonnais)	24 R^{8}		2 400
Avenue intérieure La Bourdonnais	7 R^{8}		700
Bâtiments de l'exploitation. — Pavillon de la Presse.		400 I^{10}	400
Porche central. Beaux-Arts (côté La Bourdonnais)		105 I^{10}	105
— — (côté Jardin)		105 I^{10}	105
— Arts Libéraux (côté Jardin)		105 I^{10}	105
Entrée Rapp (sur candélabres de la ville)	20 R^{8}		2 000
Galerie Rapp (18 R. sur 3 lustres de 6, 28 isolés)	46 R^{8}		4 600
— (1 R. dans chaque globe)	4 R^{25}		1 400
Galerie Desaix (comme galerie Rapp)	46 R^{8}		4 600
— —	2 R^{25}		700
Pelouses du Jardin supérieur		1 200 I^{4}	600
Velums —		424 I^{10}	424
Galerie des Restaurants	48 R^{8}		4 800
Autour des Pavillons de la Ville	24 R^{8}		2 400
Kiosques et Orchestres du Jardin supérieur		150 I^{10}	150
Pavillons de raccordement	8 R^{8}		800
Pavillons adossés au Dôme	16 L. S.		1 600
Façade du Dôme	3 R^{25}		1 050
—	16 R^{8}		1 600
Dôme central { 48 en couronne à la naissance du Dôme. 8 sur le balcon circulaire intérieur, 4 sur le balcon de la galerie de 30 m. 12 dans les 4 escaliers. }		72 I^{500}	3 600
— 14 lustres		350 I^{10}	350
Galerie de 30 mètres	40 R^{8}		4 000
Vestibule du Palais des Machines (départ des escaliers).		68 I^{20}	136
— (16 panneaux du plafond).		240 I^{16}	480
— (centre du plafond)	4 R^{8}		400
Allée intérieure La Bourdonnais entre porte Rapp et Palais des Machines	13 R^{8}		1 300
Cour Suffren	5 R^{8}		500
Cour La Bourdonnais	8 R^{8}		800
Cour de la Force motrice	22 R^{8}		2 200
Annexe des Chemins de fer	30 R^{8}		3 000
— —	5 R^{25}		1 750
Galerie des Machines. Grande nef	86 R^{25}		30 100
— —	48 R^{60}		48 000
— Bas côtés	276 R^{8}		27 600
— Escalier La Bourdonnais		160 I^{10}	160
— — Suffren		360 I^{10}	360
— — Central		86 I^{20}	172
Fontaines lumineuses (rampe)		250 I^{10}	250
— } Pour mémoire	18 R^{60}	(Galloway)	
— }	30 R^{40}	(Formigé).	
		Total . . .	176 037

RÉCAPITULATION

739 R^{8}	5 400 I^{4}
104 R^{25}	3 209 I^{10}
48 R^{60}	240 I^{16}
146 J	154 I^{20}
16 L. S.	72 I^{500}

Le tableau qui précède indique l'intensité lumineuse totale obtenue par l'ensemble des lampes employées à l'éclairage du Champ de Mars, en admettant que chaque foyer, pris isolément, donne une intensité lumineuse de :

Régulateurs	pour un arc de 8 ampères	100 carcels
	— 25 —	350 —
	— 60 —	1000 —
	pour une bougie Jablochkoff	40 —
	pour une lampe soleil . . .	100 —

Quant aux lampes à incandescence, elles ont été définies justement par leur intensité lumineuse.

Il n'y a, ce me semble, aucun intérêt à rapporter cette intensité lumineuse totale à la surface éclairée : un pareil calcul donne un renseignement sans grande valeur, même dans le cas de grandes surfaces continues sans cloisonnement, car il est bien clair que selon la répartition des lampes on pourra avec une même surface totale et une même intensité totale obtenir en tel ou tel point des résultats fort différents.

Que l'on divise la fortune d'un pays par le nombre de ses habitants : on arrivera à une moyenne par tête qui ne donne évidemment aucune indication sur le mode de répartition de la fortune publique. C'est un peu la même chose dans la question qui nous occupe.

C'est donc la distribution de cette lumière qui peut être intéressante.

Éclairages divers.

Pour certaines parties du Champ de Mars, l'éclairage prévu n'appelle aucune observation particulière ; d'autres, ou contraire, méritent qu'on s'y arrête.

L'éclairage des jardins est dans ce cas. Il comporte l'emploi simultané de bougies Jablochkoff et de lampes à incandescence : les premières destinées à assurer la lumière nécessaire, les secondes devant surtout concourir à la décoration.

Au premier abord le nombre des bougies peut paraître faible ; nous le croyons cependant suffisant, estimant que l'éclairage d'un grand parc doit être discret et limité à ce qu'il faut pour que la circulation soit facile.

Quant aux petites lampes répandues en grand nombre dans les

arbustes et sur les pelouses, elles produiront dans la verdure une véritable illumination. Leurs lignes de feu assureront la continuité de la décoration lumineuse depuis les cordons de gaz du Trocadéro jusqu'à ceux du grand dôme, tandis que sous les velums elles donneront une plus grande quantité de lumière, précisément aux points où viendra s'installer le public.

Les gros foyers sont disposés dans les parties plantées des parcs : la presque totalité de la décoration par lampes à incandescence est réunie sur les pelouses dans le milieu du jardin. C'est là que sont les fontaines, et là, par conséquent, qu'il y avait intérêt à avoir la moindre intensité lumineuse pour ne pas nuire à l'effet qu'elles doivent produire.

Tout cet éclairage a été étudié de très près par M. Alphand, et chacun sait l'art merveilleux qu'il apporte à l'établissement des parcs et jardins.

A l'intérieur du grand dôme l'éclairage est tout entier obtenu par des lampes à incandescence. Il y a, à la naissance de la voûte, une couronne de 48 lampes de 500 bougies, et sur le balcon du premier étage 8 lampes de même intensité.

La baie antérieure est occupée en bas par les portes, au premier par un grand vitrage : on a placé au centre de chacune des trois autres baies au rez-de-chaussée et au premier un lustre, et également un lustre devant chacune des huit niches des deux étages. Pas de lustre central : rien ne masquera les grandes lignes de cette remarquable construction.

Le remplacement des charbons dans les parties hautes eût été très difficile : l'installation de lampes à arcs organisées de façon à pouvoir être descendues au niveau du sol chaque jour, comporte une très grande quantité de câbles et conducteurs qui auraient déparé la belle décoration du Dôme ; l'emploi de lampes à incandescence se justifie donc de lui-même. De plus, M. Bouvard a réussi, tout en évitant l'emploi des colorations voyantes ou violentes, à obtenir le jour, à l'intérieur du Dôme, une impression de lumière chaude et dorée que les lampes à incandescence permettront, nous l'espérons du moins, de conserver le soir.

Dans le vestibule du Palais des Machines, c'est encore comme dans les jardins, un effet décoratif qu'on a surtout cherché. Ce vestibule reçoit déjà beaucoup de lumière, soit de la galerie des machines, soit de la galerie de 30 mètres : aux départs des escaliers, on a placé deux torchères chargées de lampes de 20 bougies, c'est plus qu'il ne faudra pour donner un éclairement satisfaisant.

Mais à la partie supérieure le dôme est couvert par un plafond en vitraux du plus charmant effet, et l'éminent architecte du palais des machines désirait qu'on le pût voir le soir comme le jour Il fallait donc faire un plafond lumineux.

Ce plafond se compose au centre d'une partie plane circulaire au-dessus de laquelle on a pu sans difficulté placer 4 régulateurs Tout autour il y a 16 grands panneaux et au bas de chaque panneau une rosace à verres plus vivement colorés. Dans toute cette partie, la distance entre le plafond intérieur et le vitrage extérieur est très faible, l'accès est pénible, il fallait renoncer aux lampes à arc, l'emploi même des lampes à incandescence n'a pas été sans difficulté ; placées trop près du vitrage, chaque lampe y faisait une tache. Après plusieurs essais, on a pu réussir à obtenir l'effet cherché en dissimulant les lampes le long des arêtes métalliques qui forment comme les côtes du dôme, et en blanchissant le vitrage supérieur. Les grands panneaux sont alors éclairés très sobrement ; sur ce fond simplement lumineux toute l'armature se détache en noir. A la base, les 16 rosaces forment une couronne plus brillante ; chacune est éclairée par 4 lampes à incandescence placées en croix près du centre qu'elles illuminent vivement.

Malgré la grande quantité de lumière qu'il y aura dans le vestibule, nous pensons que, grâce à la différence de couleur de la lumière fournie par les lampes à incandescence, l'effet produit restera satisfaisant. A ce point de vue nous regrettons personnellement que les 4 régulateurs de la partie centrale n'aient pas été remplacés par des lampes à incandescence.

Éclairage du Palais des Machines.

J'arrive au Palais des Machines. Ses dimensions sont connues. La nef centrale a une surface de 43 662 m^2, les galeries latérales du rez-de-chaussée et du premier étage chacune 16 675 m^2, soit en tout 77 000 m^2 environ. Le volume total atteint 2 000 000 de m^3.

Jamais encore le problème de l'éclairage d'un pareil vaisseau ne s'était présenté. C'était là évidemment la partie la plus intéressante de la tâche confiée au syndicat : son président, M. Fontaine, en a poursuivi l'étude avec un soin tout particulier ; on connaît son indiscutable compétence, nul n'était plus qualifié que lui pour mener à bien cette délicate entreprise.

L'éclairage de la grande nef est double. Il peut être obtenu au moyen de 4 grands lustres portant chacun 12 lampes de 60 am-

pères, soit en tout 48 lampes de 60 ampères. Les lustres sont répartis régulièrement sur la longueur du palais, le long du grand axe, et suspendus à une hauteur de 40 *m* au-dessus du plancher. Les charbons seront entourés de globes en verre clair.

Ce premier système de lampes peut déjà, à lui seul, donner un éclairage satisfaisant, il correspond à une intensité totale de 48 000 becs.

Il y a cependant une seconde série d'appareils composée de 86 régulateurs de 25 ampères. Ceux-ci sont attachés aux grandes fermes à raison de 5 par ferme (pour 18 fermes cela ferait 90, mais 4 fermes portent au milieu chacune un des grands lustres); ils sont alignés par 5 dans un sens et par 18 dans l'autre, et installés de façon que, pour le remplacement des charbons, ils puissent descendre dans les chemins longitudinaux et non dans les parties occupées par les exposants.

Ils brûleront à une hauteur uniforme de 15 *m* au-dessus du sol, dans des globes légèrement dépolis, blancs. Cette seconde série d'appareils donnera une nappe lumineuse d'une intensité totale de 30 100 becs carcels.

Les deux séries pourront être allumées ensemble ou séparément.

Au moment où fonctionneront les fontaines lumineuses, la seconde série éclairera seule, car c'est justement le courant employé par les 4 grands lustres qui sera utilisé à l'illumination des fontaines. Mais, en tous cas, un seul des deux systèmes est à lui seul suffisant pour donner une assez grande quantité de lumière.

L'éclairage du Palais des Machines est complété de la façon suivante :

1° Dans les bas-côtés (*rez-de-chaussée et premier étage*) 276 régulateurs de 8 ampères. Il y aura deux de ces lampes au rez-de-chaussée pour une au premier étage dont le plafond se trouve à un niveau plus élevé que celui des lampes de 25 ampères et qui recevra par conséquent de la grande nef beaucoup plus de lumière que la galerie du bas.

2° Quelques lampes à incandescence dans les escaliers.

Si maintenant nous voulons examiner de près l'éclairement obtenu dans la grande nef, nous constaterons combien j'avais raison, en commençant, de protester contre l'habitude de rapporter brutalement une intensité lumineuse donnée à une surface.

La surface totale est de 44 000 m^2. L'un des deux systèmes de

lampes donne une intensité de 48 000 becs, l'autre de 30 000, en tout 78 000.

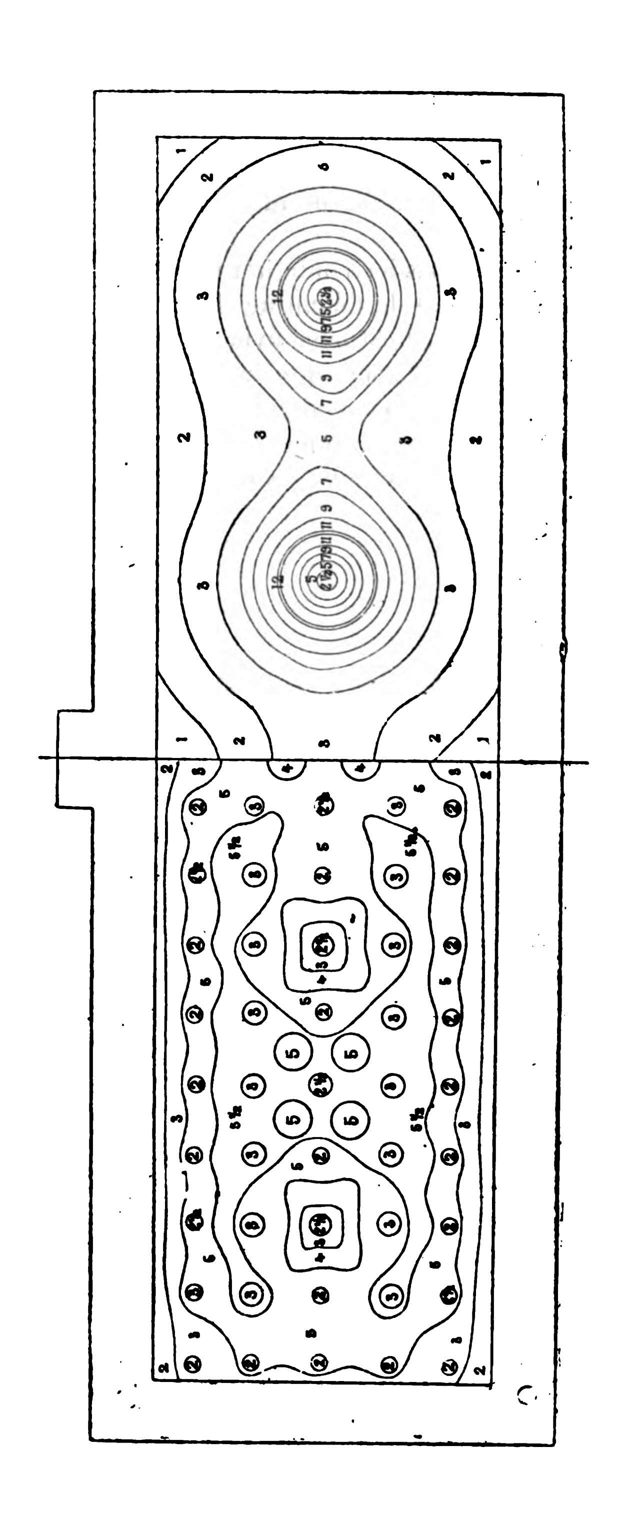
Cela ferait, semble-t-il, moins de 2 becs par mètre. Et encore! Les intensités admises sont celles qui correspondent à la direction dans laquelle les lampes donnent le plus de lumière. On sait, en effet, que la lumière d'un arc a une intensité très variable dans les diverses directions : nulle suivant la ligne des deux charbons, elle atteint, en supposant les charbons placés suivant la verticale, le positif en dessus, son maximum dans une direction faisant un angle d'environ 30° avec la verticale.

Si l'on veut ne considérer que des moyennes, on peut admettre que l'intensité moyenne sphérique, pour un régulateur de 25 ampères, est de 200 carcels et qu'elle est de 500 carcels pour un régulateur de 60 ampères. Cela donnerait, pour l'ensemble des lampes, 40 000 carcels environ, guère plus d'une demi-carcel par mètre.

Or, M. Brault, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur du syndicat, a fait quelques calculs sur l'éclairement produit, au niveau du plancher, par le système de lampes que nous nous proposons d'employer, en tenant compte en chaque point de la lumière venue de toutes les lampes.

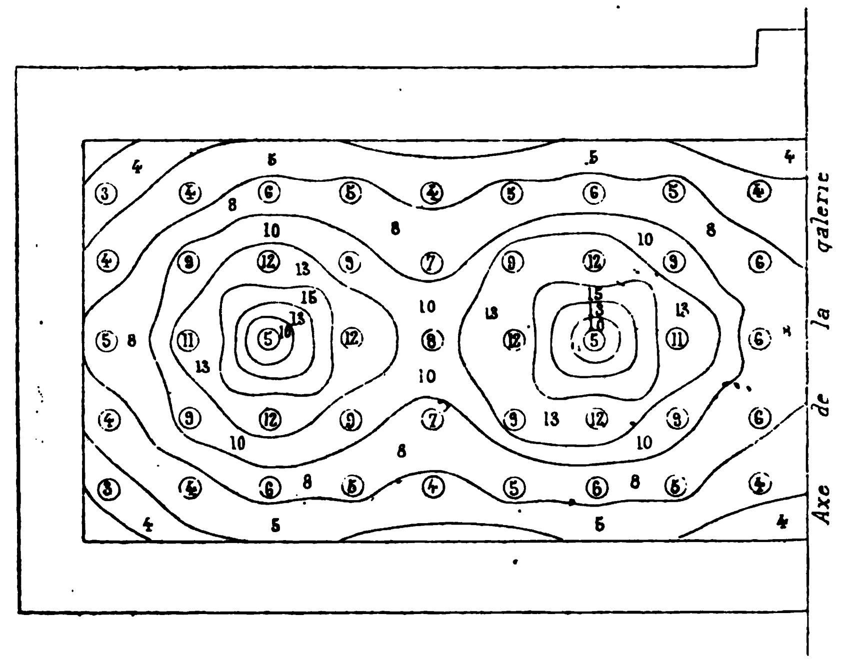
Ici il est nécessaire de définir l'expression de *carcel-mètre* que je vais employer; je n'entends nullement par là le rapport entre un certain nombre de carcels et un certain nombre de mètres carrés; j'entends, en disant qu'un élément de surface reçoit un éclairement de *n* carcels-mètre, qu'il est éclairé comme il le serait par un foyer lumineux d'une intensité de *n* carcels, situé à 1 *m* de distance. Ceci posé, voici les résultats auxquels M. Brault est arrivé, en admettant que la répartition de la lumière autour d'un foyer à arc se fait suivant la loi indiquée par M. Fontaine. (Voir *l'éclairage à l'électricité*, page 491.)

Il a étudié successivement : 1° l'éclairement produit, au niveau du plancher, par les grands lustres supposés placés à 40 *m* de hauteur; cet éclairement varie entre 2 et 12 carcels-mètre, et donne, sur le plancher, des zones réparties comme l'indiquent les courbes de la figure 1; puis, 2° l'éclairement produit par le système des foyers de 25 ampères, lequel varie de 2 à 6 carcels-mètre et donne, sur le plancher, les zones indiquées sur la figure n° 2.



Il a enfin, en juxtaposant les résultats fournis par les deux systèmes de lampes, obtenu, pour la répartition de l'éclairement produit par tous les foyers allumés en même temps, les zones indiquées sur la figure n° 3, et un éclairement variant de 4 à 15 carcels-mètre.

Je ne me risquerai pas ici à indiquer une moyenne quelconque : il faudrait tenir compte de l'étendue de chaque zone et le calcul n'a pas été fait ; mais il est bien évident que l'éclairement produit est infiniment plus grand que ne le ferait prévoir le calcul trop sommaire dont on se contente fréquemment. Pour servir de point de comparaison, je rappellerai que la piste de l'Hippodrome reçoit un éclairement de 3 carcels-mètre environ.



L'examen de la dernière figure montre que, avec l'appoint de la lumière qu'apporteront près des bords les nombreux régulateurs de 8 ampères installés dans les bas côtés, on aura vraisemblablement, au niveau du plancher, un éclairage total non seulement très intense, mais d'une régularité tout à fait satisfaisante.

Quant à la résolution qu'a prise M. Fontaine de placer tous les régulateurs à une grande hauteur, et notamment les lampes de 60 ampères aussi haut qu'il est possible, elle se justifie d'elle-même : ces lampes, très puissantes, sont de près absolument

aveuglantes, et il est nécessaire de les mettre autant que possible hors du champ normal de l'œil; il est clair, du reste, qu'à les baisser davantage on aurait eu une répartition plus irrégulière de la lumière. Quant à la diminution d'éclairement, due au plus grand éloignement, elle n'est pas aussi grande qu'elle semble d'abord.

Si, en effet, l'éclairement produit par un foyer lumineux unique sur un élément de surface, varie en raison inverse du carré de la distance du foyer à cet élément, il est facile de voir que si, au lieu d'un foyer unique, on a une ligne indéfinie de foyers, la variation devient inversement proportionnelle à la simple distance de l'élément de surface à cette ligne.

Quoi qu'il en soit, il sera bientôt possible de juger *de visu* de ce que sera en réalité l'éclairement obtenu au niveau du plancher, ou mieux au niveau moyen des vitrines, tables ou instruments exposés dans la grande galerie.

Il y aura enfin, au Champ de Mars, un autre éclairage tout particulièrement intéressant, c'est celui des fontaines lumineuses sur lequel je voudrais encore donner quelques indications.

Fontaines lumineuses.

Dès qu'il fut décidé que l'Exposition serait éclairée le soir à la lumière électrique, M. Alphand prit la résolution d'y installer une fontaine lumineuse; il fallait passer à l'exécution.

On s'assura d'abord le concours de MM. Galloway, inventeurs d'un système très complet qu'ils ont fait admirer déjà, notamment à Londres, à Manchester, et l'été dernier à Glasgow.

Leur fontaine est fort belle, l'effet en est certain, le matériel ayant subi plusieurs fois l'épreuve de l'expérience, et le personnel ayant acquis maintenant une grande habitude de son maniement; il était d'autant plus naturel de leur demander de l'apporter à Paris, qu'elle est machinée de façon à pouvoir facilement se démonter, se transporter et se remonter un peu à la façon (toutes proportions gardées) des grands établissements forains. C'est proprement dit une fontaine transportable, quoique assez monumentale pour n'avoir pas pu trouver du premier coup sa place sur l'étendue du Champ de Mars.

Un moment on songea à la diviser en deux (ce à quoi MM. Galloway se refusaient à consentir, avec raison croyons-nous) jusqu'à ce que, par une très heureuse inspiration, M. le Directeur général

des Travaux imaginât d'utiliser également pour les fêtes du soir la grande fontaine monumentale qui devait être construite au milieu du Champ de Mars, et de réunir les deux dans un même bassin au moyen d'un canal d'environ 50 *m* de longueur.

Tout l'ensemble occupe le centre des jardins entre les palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux.

A l'extrémité la plus voisine de la tour Eiffel est installée la fontaine Galloway, au centre d'un large bassin circulaire. A l'autre extrémité est la magnifique fontaine de MM. Formigé et Coutan, à laquelle il faut rattacher le canal de jonction, l'ensemble devant être illuminé à la lumière électrique au moyen de dispositifs étudiés par M. Bechmann.

Son organisation est totalement différente de celle de la fontaine Galloway, tellement différente que, sans me laisser entraîner à une description minutieuse des deux fontaines (il y faudrait une notice complète), je voudrais cependant donner sur l'une et sur l'autre des indications suffisantes pour bien montrer cette différence.

MM. Galloway constituent, au moyen d'un grand nombre de jets, une gerbe d'eau d'une puissance remarquable. La fontaine installée à Glasgow, l'été dernier, la même qui a été transportée au Champ de-Mars, comportait : un jet central de 50 *mm* de diamètre ; autour de ce jet central, répartis sur une circonférence de 12 *m* de diamètre, six jets de 30 *mm;* puis, disposés sur une seconde circonférence concentrique de 30 *m* de diamètre, 20 jets de 23 *mm* groupés deux à deux ; enfin, pour garnir la base de la gerbe, un grand nombre de jets de peu d'importance. L'ensemble consommait environ 900 m^3 d'eau à l'heure et le grand jet central pouvait atteindre jusqu'à 50 *m* de hauteur.

Dans les installations ordinaires de MM. Galloway, l'alimentation est assurée au moyen de pompes puissantes installées près de la fontaine, et c'est toujours la même eau qui circule. Au Champ de Mars, pour éviter l'installation de toute cette machinerie au milieu des jardins, M. Alphand a préféré donner de l'eau au moyen d'une conduite à 50 *m* de pression.

Au-dessous de chacun des jets du centre comme au-dessous de chacun des doubles jets de la circonférence extérieure, le fond du bassin est fermé par une glace épaisse et au-dessous de cette glace, dans les sous-sols de la fontaine, on place une lampe à arc de 60 ampères.

Les régulateurs employés sont des régulateurs à main ; un sys-

tème de vis à double filet, permet tout en maintenant fixe le point lumineux d'approcher ou d'éloigner les charbons qui sont disposés à peu près horizontalement de façon que l'arc se produise au foyer d'un grand réflecteur parabolique, en métal fondu et poli, qui renvoie verticalement un faisceau de lumière parallèle, ou mieux légèrement divergent.

Ces charbons sont disposés de telle façon que le positif ait sa face brillante dirigée vers le haut et le fond du réflecteur manque au-dessous de l'arc de manière à laisser tomber les escarbilles.

Les réflecteurs ont un diamètre à l'ouverture de 50 centimètres environ et une profondeur jusqu'au foyer de 40 centimètres.

Il y a ainsi sous la fontaine Galloway 18 lampes de 60 ampères, une par jet ; deux au milieu. Entre la lampe et la glace on peut interposer des verres de couleur qui permettent d'obtenir à volonté de la lumière blanche, verte, bleue, jaune, ou bleu turquoise. Ce sont du moins celles qui sont couramment usitées, on en pourrait évidemment allonger la liste.

On conçoit facilement ce qui se passe : pour peu que l'atmosphère soit propre et débarrassée de poussières, s'il n'y a pas d'eau les pinceaux de lumière qui sortent à travers les glaces restent invisibles dans la nuit ; que l'on donne l'eau et chaque ajutage lance au centre du faisceau lumineux, un jet qui absorbe la lumière, s'éclaire vivement et se colore à volonté.

Il va sans dire que ces jets peuvent n'être pas tous de la même couleur en même temps. De plus, les dix régulateurs de la circonférence extérieure au lieu d'envoyer leur lumière verticalement émettent des faisceaux qui convergent vers le haut de la gerbe centrale de sorte que celle-ci est éclairée en bas d'une couleur déterminée au moyen de ses propres lampes et en haut d'une couleur différente, par projection, au moyen des lampes du pourtour.

La poussière d'eau qui se forme au bas de la fontaine s'éclaire également, mais surtout toutes les gouttelettes qui retombent autour des jets s'illuminent comme autant de pierres précieuses.

Elles prennent, avec certaines couleurs surtout, un éclat incomparable et plus il peut s'en produire plus le spectacle devient brillant.

Un mécanisme placé à distance dans une cabine d'où l'on puisse voir la fontaine, et disposé à la façon des postes d'aiguillage, permet la manœuvre des verres de couleur. Un second méca-

nisme analogue, installé à côté du premier permet la manœuvre des robinets placés sur les tuyaux avant les ajutages.

Il y a là un élément de variété dont un homme ayant bien en main son instrument peut tirer des effets surprenants. Il peut non seulement modifier la couleur mais encore la forme de la gerbe, il en joue avec un double clavier; le nombre des combinaisons est illimité : l'énorme masse d'eau passant dans un milieu puissamment éclairé devient vivante. Chacun peut facilement se représenter tout ce qu'il est possible d'obtenir avec de pareilles ressources et cependant j'imagine que presque toujours l'impression ressentie dépassera l'attente.

Toute autre est la fontaine de MM. Formigé et Bechmann. Dans celle que je viens d'essayer de décrire il n'y a en somme qu'une gerbe d'eau très puissamment éclairée, gerbe d'une très grande masse et tirant d'elle-même et des modifications qu'elle peut incessamment subir tous ses effets.

La seconde est une grande fontaine monumentale dans laquelle, par conséquent, on a dû chercher par un judicieux emploi de jets d'eau variés, de groupes divers, de dispositions architecturales déterminées, à obtenir un certain effet d'ensemble qui doit rester immuable.

Il ne pourrait plus ici être question de faire varier la hauteur et le débit de tel ou tel jet et l'on ne peut que les éclairer tous de couleurs variées, une fois qu'ils ont été réglés de façon que leur importance propre concoure aussi heureusement que possible à l'effet général.

L'un des éléments d'intérêt de la fontaine Galloway, la variabilité du jet, disparaît, il est remplacé par un autre, l'ensemble décoratif obtenu, qui peut du reste avoir tout autant de valeur.

On connaît déjà la disposition de cette fontaine : dans un grand bassin situé au niveau du haut des terrasses, le vaisseau de la ville de Paris chargé de personnages allégoriques, est entouré d'attributs divers, cornes d'abondance, animaux marins... etc. Des bords de ce bassin, par un déversoir à très grand développement, sous lequel on placera un cordon de lampes à incandescence, l'eau tombe dans le canal inférieur qui va jusqu'à la fontaine Galloway.

Dans le canal on a disposé sur deux lignes parallèles 14 gerbes verticales de formes variées. Ces gerbes sont éclairées par le même procédé que celles de la fontaine Galloway; une glace au-dessous de la gerbe, avec régulateur sous la glace envoyant verticalement

un faisceau de lumière légèrement divergent. Quelques différences cependant à signaler :

1° Chaque lampe ici n'éclaire plus un jet unique, mais bien une gerbe de jets de faible dimension, diversement groupés, lancés par une véritable grille qui est placée au-dessus de la glace. Grâce sans doute à la lumière réfléchie par l'eau cette grille ne produit aucune ombre; c'est en somme comme précédemment de l'eau lancée dans un faisceau de lumière;

2° Au lieu de produire la lumière avec des régulateurs à main, M. Bechmann a jugé préférable de se servir de régulateurs automatiques. Les appareils construits chez MM. Sautter, Lemonnier et Cie se composent d'une lampe dont les charbons sont disposés presque verticalement, d'un miroir sphérique réfléchissant la lumière horizontalement, et d'un miroir plan, incliné à 45°, renvoyant verticalement le faisceau lumineux. Le choix de ces appareils se justifie tout naturellement par la distance à laquelle ils se trouvent les uns des autres. Il y en a, par le fait, 7 dans une galerie étroite, sur une longueur de près de 50 *m*, et il aurait fallu un personnel trop nombreux pour surveiller des appareils à main.

Mais en somme, pour les gerbes verticales le mode d'éclairage est le même, en principe, que dans la fontaine Galloway, et à la seule condition de disposer d'une suffisante quantité de courant, on y pourrait facilement conserver la même proportion entre l'intensité lumineuse de chaque lampe et la quantité d'eau à éclairer.

Dans le bassin supérieur il y a de chaque côté du vaisseau une autre gerbe verticale éclairée par le même procédé.

Il y a enfin 14 jets horizontaux, 4 sortant de cornes d'abondance au centre de la fontaine, 10 sortant de vases ou lancés par des dauphins et distribués sur le pourtour du bassin. Pour l'éclairage de ces derniers, il a fallu recourir à un principe tout différent. M. Bechmann pensa tout naturellement à mettre à profit l'expérience classique de la réflexion totale de la lumière lancée à l'intérieur d'un jet d'eau parabolique. Mais encore faudrait-il, pour que l'expérience réussisse, que le jet ne se brisât pas, ce qui, en l'espèce, est presque irréalisable ; de plus, et à cause du grand pouvoir absorbant de l'eau, il aurait fallu pour des jets nécessairement volumineux de prodigieuses quantités de lumière. Après de très nombreux essais il est enfin arrivé à la solution suivante :

Les ajutages sont formés d'une couronne elliptique de faible épaisseur : l'eau sort par cette couronne.

Le jet n'est plus, à vrai dire, qu'une gaine d'eau dans l'intérieur

de laquelle on lance de la lumière qui se réfléchit sur sa surface interne et l'éclaire sur toute sa longueur.

En réalité, je ne pense pas qu'il y ait tout le long réflexion totale, mais enfin l'effet désiré est obtenu et voici comment, à mon sens, les choses se passent.

Il fallait nécessairement un faisceau de lumière convergent, avec point de convergence à l'orifice de l'ajutage, afin de pouvoir faire passer par cet orifice de faible dimension et utiliser la totalité de la lumière produite. Ce faisceau convergent eût été très facile à obtenir avec les appareils qui servent à l'éclairage des gerbes verticales du canal ; mais on ne pouvait pas, faute de place, les installer en face des ajutages, il aurait fallu les mettre au bas de cheminées où la lumière doit être envoyée verticalement pour être ensuite réfléchie et renvoyée horizontalement par un miroir installé dans le corps des poissons ou à l'intérieur des vases au niveau de l'orifice. Cela eût fait deux réflexions successives ; chacune fait perdre environ 20 0/0 de la lumière, et on n'en avait pas une quantité illimitée. Comme, d'ailleurs, toutes ces lampes devaient se trouver assez groupées pour que la surveillance en fût facile, le Syndicat chargé de l'installation de ces lampes a préféré revenir aux régulateurs à main identiques à ceux qui servent pour la fontaine Galloway. Un léger déplacement du miroir permet d'obtenir un faisceau convergent ; la convergence peut être augmentée par la réflexion sur le miroir supérieur légèrement courbé, installé devant l'ajutage, et cette disposition permet de n'avoir qu'une seule réflexion.

A partir de cet ajutage, le faisceau de lumière d'abord convergent diverge : il se réfléchit dans le jet tant que celui-ci reste continu, puis, quand le jet se brise à une assez grande distance de l'ajutage, le cône de lumière est assez ouvert et assez incliné pour que la partie basse du jet y reste contenue.

Dans cette partie basse, l'éclairage de l'eau est donc obtenu, je crois, par la même méthode que pour les gerbes verticales, mais dans l'ensemble il n'y en a pas moins là un mode d'éclairage de l'eau tout à fait différent.

En résumé, la fontaine de MM. Formigé et Bechmann comporte donc 16 gerbes verticales et 14 jets paraboliques. Elle est éclairée au moyen de 30 régulateurs de 40 ampères.

Nous venons de voir que, par rapport à celle de MM. Galloway, elle offre une disposition tout à fait nouvelle qui est, par elle-même, très belle et très intéressante, et il y aura là un grand

attrait pour les visites du soir au Champ de Mars. La première est connue et a fait ses preuves, la seconde en est à ses débuts.

Elles dérivent toutes deux de conceptions absolument différentes, mais je crois, pour ma part, que l'une et l'autre, groupées comme elles le sont, se compléteront admirablement et offriront un merveilleux spectacle à ceux qui se contenteront d'en jouir sans gâter leur plaisir par la recherche de comparaisons d'autant plus inutiles qu'elles porteront sur des choses qui ne sont pas absolument comparables.

Quant à la fontaine située sous la tour Eiffel, elle sera simplement éclairée par projection au moyen de 4 lampes puissantes.

Organisation du Syndicat.

Il me reste à dire comment sera produite toute cette lumière. mais les moyens d'exécution que le syndicat a dû adopter résultent pour une grande part, d'une façon si impérative, de ses statuts et de son organisation que force m'est d'en dire d'abord quelques mots. Je le ferai aussi brièvement que possible.

Sitôt nommé Directeur général de l'Exploitation, M. G. Berger s'adressa à la chambre syndicale des industries électriques pour lui demander d'étudier avec lui les moyens pouvant permettre d'éclairer et, par conséquent, d'ouvrir le soir une partie de l'Exposition.

Les négociations entamées furent poursuivies par deux de nos collègues : MM. Hippolyte Fontaine et P. Lemonnier ; il y avait de part et d'autre beaucoup de bon vouloir et grand désir d'aboutir ; elles furent cependant longues et laborieuses, dominées par une grave difficulté : le manque d'argent.

On avait bien ouvert des crédits pour toutes les autres dépenses d'exploitation, eau, gaz, vapeur, etc. ; mais il n'y en avait pas pour la lumière et il était bien difficile d'en trouver. On pensa naturellement à un prélèvement sur les entrées ; mais les entrées étaient attribuées par privilège spécial à la Société de garantie qui n'y voulait pas laisser toucher. Si bien qu'un premier projet de contrat dut être abandonné parce qu'il attribuait au Syndicat à former pour l'éclairage la moitié des recettes devant provenir des entrées du soir quoique, sans Syndicat et sans éclairage, il ne put plus y avoir du tout d'entrées ni, partant, de recettes du soir. On trouva, enfin, un moyen de tourner cette grave difficulté et on aboutit à un second contrat, viable celui-là, par lequel on donnait aux élec-

triciens syndiqués, sous la condition d'y organiser une exposition d'éclairage, la jouissance de l'Exposition de 6 heures à 11 heures et toutes les entrées du soir, au lieu d'une partie, à charge par eux d'en rendre la moitié à l'État.

La recette dépassant certaine somme, la part du Syndicat diminuait, ou plutôt non, la part de l'État augmentait.

Matériellement le résultat était le même.

Voici, du reste, les parties essentielles de ce contrat :

Article premier.

Le Ministre du Commerce et de l'Industrie, après délibération de la Commission de contrôle et de finances chargée d'administrer l'association de garantie, aux termes des conventions annexées à la loi du 6 juillet 1886, et après avis favorable de la section des travaux publics, de l'agriculture, du commerce et de l'industrie, du conseil d'État, autorise MM. Hippolyte Fontaine, Paul Lemonnier, Pol Fabry, Louis Rau, ès-qualités, à installer une exposition collective d'éclairage électrique, dans les palais et jardins de l'Exposition universelle de 1889 pendant toute sa durée, et à recevoir un prix d'entrée des visiteurs du soir.

Cette autorisation est faite aux charges et conditions stipulées par les articles ci-après.

Art. 2.

MM. Hippolyte Fontaine, Paul Lemonnier, Pol Fabry, Louis Rau, ès qualités, s'engagent solidairement :

1° A admettre dans le Syndicat international pour l'éclairage électrique, les exposants qui le demanderont, conformément aux articles 3 et 7 des statuts de ce syndicat susvisé ;

2° A faire à leurs frais, risques et périls, toutes les dépenses de construction, de pose, de fonctionnement et d'entretien des machines, appareils, régulateurs, câbles, etc., et tous les frais quelconques exigés par ledit éclairage, qui s'étendra : au Palais des machines (grande nef et bas côtés), à la cour de la force motrice et aux deux cours en retour jusqu'à la hauteur du jardin de 30 mètres, à la galerie de 30 mètres, aux terrasses des galeries des expositions diverses, aux galeries Rapp et Desaix, aux terrasses des palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux sur le jardin, au jardin bas du Champ de Mars, au quai d'Orsay devant le parc du Champ

de Mars, au bâtiment de l'exploitation, au Palais des produits alimentaires, à la voie passant devant ce Palais et allant du Champ de Mars au pont de l'Alma, enfin aux fontaines et bassins éclairés sous l'eau, suivant, en un mot, les indications portées au plan ci-annexé.

. . . .

L'ensemble de l'éclairage prévu comprendra une surface d'environ 300 000 m^2 et une intensité totale d'environ 150 000 becs carcels, obtenue par une puissance motrice de 3 000 chevaux-vapeur ;

3° A faire pour les exposants ou exploitants toutes les installations qui seront demandées pour l'éclairage électrique privé, à entretenir ces installations en bon état, à fournir enfin l'électricité nécessaire à l'éclairage.

Les dépenses comprises dans cette troisième catégorie seront soldées par abonnements par les exposants, conformément à un tarif soumis à l'approbation de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie.

L'emploi de l'électricité n'est pas obligatoire et les exposants ou exploitants auront le droit de faire usage de tout autre mode d'éclairage, mais le Syndicat fera seul les fournitures et travaux relatifs à l'emploi de l'électricité.

Article 4.

Sur les recettes provenant des entrées du soir, et à titre de redevance, le Syndicat abandonne au Ministère du Commerce et de l'Industrie la moitié des recettes brutes ; toutefois, lorsque le produit de ces recettes dépassera 3 600 000 francs, la part attribuée à l'État sera portée aux 7/10 sur les premiers 500 000 francs de l'excédent, aux 8/10 sur les 500 000 francs suivants, enfin aux 9/10 sur le surplus, quelle qu'en soit l'importance.

Il est spécifié que les recettes brutes auxquelles s'applique le partage ci-dessus indiqué se composent :

1° Du droit d'entrée, pour les séances du soir, payé à partir de 6 heures, et 2° du supplément, qui ne sera pas inférieur à 6 francs, à ajouter au prix des cartes d'abonnement, s'il en est délivré, qui donnent accès aux séances du soir

Article 5.

La perception des entrées du soir et du supplément d'abonnement, s'il y a lieu, sera effectuée par les agents du Trésor public...

. . . .



A ce contrat étaient annexés les statuts de la Société dont la formation était prévue à l'article 2, sous le nom de Syndicat international des électriciens.

Voici les parties de ces statuts qui, au point de vue particulier qui m'occupe en ce moment, présentent quelque intérêt.

Article 3.

Seront admis à la même participation et aux mêmes conditions que celles qui existent ou existeront pour les soussignés, tous les exposants d'éclairage électrique sans distinction de nationalité, qui voudront concourir à l'entreprise dont s'agit, et adhéreront aux présents statuts.

Article 4.

L'éclairage public et privé de l'Exposition sera organisé par les soins de la Société sous la haute surveillance des Directions générales des travaux et de l'exploitation, en vue des meilleurs résultats d'ensemble à obtenir, et à l'exclusion, pour chaque système, de toute considération d'intérêt privé.

Article 5.

Le fonds social est fixé à la somme de 300 000 francs, représenté par 300 parts de 1 000 francs chacune.

Article 8.

Les souscriptions seront reçues jusqu'au 1er septembre 1888; passé ce délai, aucun participant ne sera admis dans le Syndicat.

Article 9.

Chaque souscripteur s'engage à installer et à entretenir en excellent état, pendant toute la durée de l'Exposition, tout le matériel électrique : dynamos, câbles, foyers, et accessoires, nécessaires à l'utilisation d'une force motrice de 10 chevaux ; et cela, pour chacune des parts qui lui sera attribuée. La force motrice lui sera fournie par l'Administration du Syndicat.

Il s'engage également à surveiller son matériel et à remplacer les charbons, les bougies, les lampes ; en un mot, à faire l'exploitation régulière et normale de tous les appareils fournis par lui.

Article 15.

Une Assemblée générale, à laquelle tous les souscripteurs sont

priés d'assister ou de se faire représenter, sera convoquée par le Conseil et tenue à Paris dans le courant du mois de septembre 1888.

Cette assemblée générale sera régulièrement constituée si elle comprend au moins le quart des souscripteurs.

Faute de ce quantum, une nouvelle convocation sera faite pour le courant du mois suivant et pourra délibérer valablement, quel que soit le nombre des souscripteurs présents.

ARTICLE 17.

L'Assemblée générale délibérera sur un ordre du jour préparé par le Conseil, lequel ordre du jour comprendra les points suivants :

1° Règlement pour l'installation et la pose des conducteurs ;

2° Répartition des parts entre les souscripteurs ;

3° Répartition des espaces à éclairer ;

4° Mesures d'intérêt général concernant l'éclairage public et privé.

Les décisions de l'Assemblée générale seront prises à la majorité des voix des membres présents.

Ces décisions ne deviendront exécutoires pour tous les participants qu'après l'approbation de M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie.

A ces deux pièces, on avait ajouté un cahier de charges prescrivant certaines précautions d'ordre général pour la pose des conducteurs.

La situation résultant du traité et des statuts était, en somme, très nette. Il s'agissait d'organiser une exposition collective d'éclairage électrique : tous électriciens étaient admis à y participer. Le Syndicat doit à ses membres la force motrice : il a, pour faire face à cette dépense, la petite somme résultant de la souscription à ses parts, mais à partir de la poulie de commande jusqu'aux lampes, chaque membre du Syndicat reprend son autonomie complète. Il opère avec un matériel à lui, installé par lui, à ses frais, risques et périls, fonctionnant dans les conditions qui lui conviennent, sous la seule réserve de se conformer, pour l'emplacement, la nature et l'intensité de ses foyers, à un plan d'ensemble élaboré par l'administration du Syndicat et accepté par tous.

Ce plan d'ensemble doit naturellement être établi en vue de la meilleure répartition et utilisation de la lumière : il s'agit d'une

exposition d'éclairage : ce que l'on veut montrer, c'est le parti qu'il est possible de tirer de la lumière électrique pour l'éclairage et la décoration de vastes espaces, les uns couverts, les autres découverts.

Il n'y a, du reste, pas de budget prévu, aucune rémunération assurée autre qu'une participation à des recettes qui maintenant sont, très évidemment et très heureusement, largement assurées, mais qui, à l'époque où il s'est agi de constituer le Syndicat, semblaient encore à beaucoup très problématiques. Il était alors facile d'en juger par les hésitations de la plupart de ceux qui étaient sollicités d'entrer dans le Syndicat.

Depuis, les conditions ont changé. L'émission des bons de l'Exposition a eu pour conséquence forcée le rachat, moyennant une somme fixe, des droits du Syndicat sur partie des entrées du soir. Mais cette modification s'est produite à la dernière heure, il y a à peine un mois, et alors que toutes les opérations étaient trop complètement engagées pour qu'il fût possible d'y rien changer. L'œuvre du Syndicat devait rester ce qu'elle était au début, le groupement d'une série d'expositions distinctes, distribuées de façon à couvrir toute la surface du Champ de Mars.

On eût pu, évidemment, la concevoir d'une façon toute différente. Considéré comme simple concessionnaire d'une entreprise d'éclairage public, le Syndicat aurait pu établir, dans l'enceinte de l'Exposition, une canalisation générale sur laquelle seraient venues se brancher toutes les dynamos d'une part, toutes les lampes d'autre part. Il aurait dû alors exiger de ses adhérents que leurs dynamos fussent construites pour fonctionner suivant un régime déterminé à l'avance (il est bien clair qu'en ce cas il aurait dû, en même temps, leur assurer une rémunération fixe) et il se serait trouvé exposer un modèle d'une grande canalisation installée en vue de la distribution d'une énorme quantité d'énergie électrique.

Une telle canalisation, au point de vue du service public, aurait peut-être été préférable : elle aurait donné à l'ensemble une beaucoup plus grande souplesse, aurait permis de suppléer plus facilement à une défection possible, et aurait donné toute facilité, entre autres, d'allumer telles ou telles lampes, selon les besoins, avec telle ou telle dynamo.

Plus ou moins bien réussie (nous pouvons supposer qu'elle l'eût été très bien), ç'aurait été l'exposition des ingénieurs du Syndicat et non celles des membres du Syndicat.

Ç'aurait été tout autre chose que ce qui a été fait : plus intéres-

sant peut-être à certains égards, évidemment moins à d'autres; meilleur ou pire, c'est ce que je n'ai pas à discuter ici, car il est bien clair que les conditions mêmes de notre organisation telle qu'elle résultait forcément du contrat et des statuts que je viens d'analyser, et de l'absence de tout budget pouvant donner à notre entreprise un caractère de service public, ne permettaient pas le choix.

Et je tenais beaucoup à mettre ce fait en lumière, ne fût-ce que pour ne pas laisser sans réponse quelques critiques venues à ma connaissance, émanant évidemment de personnes très convaincues de l'excellence du second système dont je viens de parler, mais oubliant peut-être trop qu'il s'agit d'une œuvre entreprise par des associés qui n'étaient qu'exposants et nullement entrepreneurs et qui n'avaient accepté de très gros risques qu'à la condition d'exposer chacun ses appareils et son système de distribution

La signature du contrat relatif à l'éclairage du soir date du 15 février 1888. La souscription devait être ouverte jusqu'au premier septembre afin que chacun, en tous pays, eût le temps d'être informé et de se réclamer de son droit à souscrire. Le Syndicat ne put donc se constituer définitivement que dans le courant de septembre 1888 : il tint une assemblée générale le 22 septembre. Le projet de répartition de l'éclairage était à cette époque préparé dans ses grandes lignes ; il reçut alors seulement l'approbation qui devait précéder tout commencement d'exécution.

On se mit de suite à l'œuvre : il n'était que temps. Le Syndicat, une fois constitué, était administré par un Conseil composé statutairement par MM. Hippolyte Fontaine, président; Fabry, Lemonnier et Rau.

Il avait pour directeur M. de Bovet, pour ingénieur en chef M. Picou, et pour ingénieurs et inspecteurs MM. Dumont, Napoli, Reverend, Lafon, Brault et Cétard.

Interprétant très libéralement ses statuts, il accueillait encore, après sa constitution, quelques souscriptions tardives très peu importantes du reste, et de fait il a aujourd'hui 27 adhérents qui, par nationalité, se répartissent de la façon suivante :

16 Français, 5 Belges, 3 Anglais, 2 Suisses et 1 Alsacien

Sitôt constitué définitivement, il dut se préoccuper de créer sur les terrains qu'il avait pu obtenir un certain nombre de stations centrales et d'y installer des machines pour fournir la force motrice à ses membres.

Ne devant pas faire une grande canalisation générale, il lui fal-

lait naturellement essayer de les répartir suivant les nécessités de l'éclairage des diverses régions de l'Exposition.

De plus, l'importance de quelque souscriptions était telle qu'il devenait facile d'attribuer à certaines Sociétés une station entière, afin qu'elles pussent s'installer complètement d'après leurs méthodes personnelles : cela devait donner lieu à des comparaisons très intéressantes.

Stations.

On est arrivé ainsi à la répartition suivante des installations : je les indiquerai dans l'ordre où on les rencontre à partir de l'entrée et dirai en même temps quels sont les éclairages qu'elles ont à desservir.

En arrivant par le pont d'Iéna, on trouve d'abord :

Sur la berge de la Seine, en aval du pont :

Une station installée par la Société l'*Éclairage électrique.*

Cette station comporte :

3 chaudières Terme et Deharle;

4 machines Lecouteux et Garnier à marche rapide en tout 600 chevaux;

19 dynamos : Gramme alternatif, Rechniewsky et Ferranti.

De sa station cette Société allume tous les régulateurs et bougies Jablochkoff de la passerelle de l'Alma, du pont d'Iéna, du quai, des jardins inférieur et central, des terrasses, les régulateurs de la façade du palais des Arts Libéraux, côté jardin, les velums du pont d'Iena

A côté de cette station le Syndicat a, au dernier moment, fait construire une autre station où il installe :

2 moteurs à gaz de la Compagnie Parisienne, de chacun 24 chevaux, pour actionner les dynamos de M. Pieper, chargé de l'éclairage du sous-sol du palais des produits alimentaires et de divers pavillons;

Un moteur à gaz de 16 chevaux de la Compagnie Parisienne en réserve, et un moteur à gaz Dawson de 20 chevaux; soit en tout 84 chevaux.

En bordure de l'avenue de La Bourdonnais, près le pavillon des postes, la société Edison est installée dans une station avec :

3 chaudières Belleville;

4 machines Weyher et Richemond à triple expansion de 150 chevaux;

Une machine Weyher et Richemond compound de 150 chevaux ; soit en tout 750 chevaux ;

6 dynamos de 500 ampères.

2 — de 800 ampères.

La canalisation est faite à 3 conducteurs.

Cette Société allume :

Les régulateurs de la façade des Beaux-Arts (côté La Bourdonnais), de l'avenue intérieure La Bourdonnais jusqu'à la porte Rapp, de la porte et de la galerie Rapp et des quatre pylones ; et toutes les lampes à incandescence des 3 porches, de la fontaine, et des jardins central et inférieur (pelouses, arbres, velums).

Dans le jardin de 30 *m*, le Syndicat a trois stations :

Celle de la Société Gramme installée avec cinq chaudières Davey-Paxman.

3 Machines Davey-Paxman : 1 de 300 chevaux.
1 de 200 —
1 de 100 —
Soit en tout. . . . . 600 chevaux.

Et 6 dynamos : 2 de 900 ampères,
2 de 450 ampères,
2 de 250 ampères.

Cette Société allume :

Les 48 régulateurs des lustres de la galerie des machines installés par 3 en tension. Ces régulateurs (60 ampères) brûlent des charbons de 25 *mm* ; on a pu les munir de globes en verre clair en donnant à ces globes, pour qu'ils ne se brisent pas, un diamètre de 0,40 *m* et en assurant, à l'intérieur, la circulation d'un courant d'air.

Elle allume également les 72 lampes à incandescence de 500 bougies, du grand dôme.

C'est elle encore qui alimente les régulateurs des deux fontaines, soit 18 de 60 A et 30 de 40 A, naturellement groupés aussi par 3 en tension, en y employant, ainsi que nous l'avons dit précédemment, le courant des grands lustres.

A côté de cette station, il y en a une seconde où sont installés :

1° M. Borssat, avec une machine à vapeur de 100 chevaux et deux dynamos ;

2° La Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, avec une machine de 40 chevaux et une dynamo, commandée directement ;

3° La Société française de Matériel agricole, avec une machine à vapeur de 25 chevaux et une dynamo;

4° M. Garnot, avec une turbine à vapeur Parson de 10 chevaux.

Soit au total : 175 chevaux.

Pour alimenter ces machines et fournir de la vapeur à M. Crompton installé dans la section anglaise de la grande galerie, le Syndicat a fait placer dans la même station 8 chaudières de MM. de Naeyer, Montupet, Lacroix, Terme et Deharbe, Roser, Durenne, Archambault et Soucaille, et Pressard, pouvant produire ensemble 7 000 *kg* de vapeur à l'heure.

La Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée est chargée de l'éclairage du vestibule du Palais des Machines.

MM. Borssat et Garnot, ainsi que la Société de Matériel agricole, contribuent à l'éclairage du même Palais, dans des proportions que nous indiquerons ultérieurement.

Dans la troisième station du jardin de 30 *m*, la Société pour la transmission de la force expose un élément de sa future station centrale de Saint-Ouen, à savoir : 4 chaudières de 2 000 *kg* de vapeur de M. Roser, 2 machines Corliss couplées de MM. Lecouteux et Garnier faisant ensemble 500 chevaux, et 4 dynamos Marcel Deprez à double anneau.

Conjointement avec la Société pour le travail électrique des métaux, à qui elle fournit du courant, elle allume toutes les lampes à arc ou à incandescence : de la façade du Dôme, de la galerie des restaurants, du pourtour des pavillons de la Ville, des pelouses et des *velums* du jardin central, des pavillons de raccordement et de la galerie Desaix. Elle fournit du courant à la Société Cance pour les lampes de la galerie de 30 mètres.

Les régulateurs de la galerie Desaix et de la galerie des restaurants sont répartis par 24 en tension.

De l'autre côté du Palais des machines, dans la cour de la force motrice, le long de l'École militaire, MM. Steinlein et Cie de Mulhouse ont une station de 300 chevaux.

Elle est alimentée de vapeur par des chaudières de MM. Daydé et Pillé. Les machines à vapeur sont du système Armington, à marche rapide, faisant tourner 15 machines dynamo.

Cette station fournit l'éclairage de la cour de la force motrice et de la cour Suffren; elle alimente en outre, dans la galerie des machines, un grand nombre de lampes dont nous donnerons le détail plus loin.

En outre de ces diverses stations, le Syndicat a toute une série

d'installations dans la galerie même des machines; ce sont celles de :

1° MM. Crompton et Cie, dans la section anglaise, dont les dynamos sont commandées par des machines Westinghouse qui reçoivent leur vapeur d'une des stations du jardin de 30 *m*; force totale : 250 chevaux ;

2° MM. Sautter Lemonnier et Cie, qui ont placé dans la classe 50 un ensemble (machine à vapeur et dynamo) construit par eux et correspondant à une force totale de 100 chevaux ;

3° La Société belge pour l'éclairage et la transmission à longue distance et le Syndicat des brevets Clerc dont les dynamos, installées dans la classe 62, sont actionnées par une machine à vapeur de M. Boulet, d'une force de 100 chevaux;

Les machines à vapeur de MM. Sautter, Lemonnier et Boulet reçoivent leur vapeur d'une chaudière de M. de Naeyer.

4° MM. Alioth et Cie, de Bâle, et la Compagnie des Ateliers d'Oerlikon, qui ont chacun dans la section Suisse une installation complète, machines à vapeur et dynamos. Les moteurs prennent la vapeur sur les conduites générales et ont ensemble une force totale de 100 chevaux;

5° M. Popp qui commande dans son exposition de la classe 62 sa dynamo avec un moteur à air comprimé de 10 chevaux;

6° La Compagnie électrique dont le groupe de 4 dynamos commandées par friction est placé dans la classe 53 et reçoit le mouvement d'un moteur à gaz de la Compagnie française des moteurs à gaz, d'une force de 50 chevaux;

7° M. F. Henrion, installé dans la classe 57 avec un moteur à gaz de la Compagnie Parisienne de 24 chevaux ;

8° MM. Latimer Clarke, Murthead et Cie, qui ont, dans la classe 63, une dynamo commandée par un autre moteur à gaz de la Compagnie Parisienne, également de 24 chevaux;

9° MM. Jaspar (de Liège) et Dulait (de Charleroi), qui reçoivent la force motrice d'une installation intéressante de moteurs faite par la Société Française des moteurs Otto. — Cette installation se compose de un moteur de 25 chevaux, un de 15, un de 8 et un de 50 qui actionnent les dynamos au moyen d'un arbre intermédiaire organisé de façon que les deux groupes de dynamos puissent, si l'on veut, être indépendants. Cet ensemble de moteurs peut être remplacé par un moteur unique de 100 chevaux qui attaque le même arbre et qui peut marcher soit seul soit en même temps

que les autres. Il y a donc là une force totale disponible de 200 chevaux.

Enfin le Syndicat peut utiliser une force de 80 chevaux, sur un des moteurs de l'exposition de MM. Farcot et il a à sa disposition, pour faciliter certains services, 10 000 *kg* d'accumulateurs.

Parmi ces installations de la galerie des Machines, celle de M. Dulait fournit l'éclairage de l'avenue intérieure La Bourdonnais, depuis la porte Rapp jusqu'au coin de l'avenue de La Motte-Piquet; celle de la Compagnie Electrique envoie un courant à haute tension aux régulateurs de la façade du palais des Beaux-Arts (côté jardin), au moyen de deux circuits de 17 arcs chacun, et celle du Syndicat des brevets Clerc alimente les lampes Soleil installées dans les pavillons adossés au grand Dôme. Les autres concourent, avec celles qui ont été indiquées déjà, à l'éclairage du palais des Machines. Voici quelle est la distribution des lampes:

Régulateurs de 25 ampères :

MM. Crompton et Cie	24
Steinlein et Cie.	20
Sautter, Lemonnier et Cie.	12
Jaspar	11
Société Belge pour le transport des forces.	6
Borssat.	5
Société Française de matériel agricole . .	4
Henrion	4

Régulateurs de 8 ampères.

MM. Crompton et Cie	79
Steinlein et Cie	76
Sautter, Lemonnier et Cie.	30
Alioth et Cie.	30
Ateliers d'Oerlikon.	25
Société Française de matériel agricole . .	8
Société Belge pour le transport des forces.	8
Henrion	8
Jaspar	7
Popp.	5

Les lampes incandescentes des escaliers sont installées par MM. Crompton, Steinlein, Garnot et Wowhouse et Rawson, et M. Borssat, place dans l'annexe des chemins de fer que l'on peut

considérer comme faisant partie de la galerie des Machines, cinq régulateurs de 25 ampères et trente de 8 ampères.

J'en aurai fini avec cette longue énumération en signalant enfin deux autres stations établies aux Invalides (il a été décidé très tard seulement que l'esplanade des Invalides serait ouverte le soir), l'une par la Compagnie électrique, avec 64 chevaux de moteurs à gaz, l'autre par M. Garnot avec des moteurs Westinghouse et des chaudières Oriolle pouvant développer une force de 70 chevaux, soit en tout, 134 chevaux.

Ces deux stations fournissent de la lumière à plusieurs des expositions de l'Esplanade, telles, par exemple, que les expositions d'Algérie, de Tunisie, etc., etc. Il n'y a pas aux Invalides d'éclairage public officiel à l'électricité et ce sont les diverses expositions qui y sont installées qui ont dû se procurer, à titre privé, la lumière électrique qui leur était nécessaire.

De même, au Champ de Mars, le Syndicat fournit en dehors de l'éclairage public, de la lumière électrique à un assez grand nombre d'établissements (cafés, restaurants, etc.) et de pavillons d'exposition. J'indiquerai seulement l'importance totale de ces éclairages : actuellement ils comptent environ 3 000 lampes à incandescence, surtout de 10 ou de 16 bougies, et 275 régulateurs, pour la plupart de 8 ampères. Quelques-uns seront certainement intéressants : par exemple, celui de la République Argentine où l'architecte a, contrairement à ce qui se fait d'ordinaire, cherché à employer des lampes à incandescence pour la décoration extérieure du monument, tandis que tout l'éclairage intérieur est obtenu avec des lampes à arc.

En somme, le Syndicat dispose, comme nous venons de le voir, d'au moins 4 000 chevaux de force à convertir en lumière. Je viens d'expliquer, un peu trop longuement, comment il en a réglé l'emploi, c'est à chacun qu'il appartiendra de dire s'il en a tiré un bon parti, puisque l'on pourra, d'ici à quelques jours, juger sur place des résultats.

CHRONIQUE

N° 112

SOMMAIRE. — Dangers de l'emploi d'huiles légères pour le graissage des compresseurs d'air. — Formation de la rouille. — Chemin de fer Fell à la Nouvelle-Zélande. — La navigation fluviale en Allemagne. — Le chemin de fer du Pilate. — Tôles minces de l'Oural.

Dangers de l'emploi d'huiles légères pour le graissage des compresseurs d'air. — Les faits suivants rapportés dans une communication de M. John Morison au *North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers*, nous paraissent intéressants à reproduire.

Le 1er mars 1883, un réservoir d'air comprimé a fait explosion à la houillère de Ryhope, près Sunderland, dans les conditions suivantes:

Le compresseur alimentant ce réservoir fonctionnait à une pression de 4 kilogrammes par centimètre carré ; le réservoir était de forme cylindrique de 1,83 *m* de diamètre sur 8,85 *m* de longueur ; il était tout à côté du compresseur. Lors de l'accident, le surveillant venait de graisser les cylindres du compresseur, lorsque l'explosion se produisit avec un bruit sourd accompagné d'une flamme volumineuse qui dura quelques instants. Le réservoir fut mis en pièces et beaucoup de dégâts causés au tuyautage et aux objets environnant l'appareil.

De plus grands détails sur cet accident sont donnés dans le rapport fait par une commission du *North of England Institute*, nommée à cet effet et dans un rapport de M. J. Richards, inspecteur du *Board of Trade*.

Ces deux rapports sont d'accord sur le fait que l'explosion a été amenée par l'usage de l'huile minérale, mais ni l'un ni l'autre ne signalent le point d'inflammation de cette huile, ni la température à laquelle l'air était porté par la compression.

Le rapport de la commission conclut ainsi :

« La rupture du réservoir d'air n° 1 doit avoir été causée par une explosion intérieure. La température de l'air doit avoir été très élevée et avoir chauffé fortement les tôles, car on ne saurait admettre que l'explosion d'une durée très courte ait pu les élever au rouge blanc. En tout cas, il faut que la température de l'air comprimé ait été supérieure au point d'inflammation de l'huile .»

Bien que la commission ait fait quelque allusion à la présence de poussières de charbon dans l'air de la mine, elle ne semble pas avoir attribué à ces poussières un rôle dans l'accident.

L'auteur pense que, par quelques observations qu'il a eu l'occasion de faire, il lui est possible de jeter quelque lumière sur l'explosion de Ryhope, dont les causes n'ont pas été suffisamment expliquées par les rapports auxquels il vient d'être fait allusion.

Le 13 février 1888, M. Morison eut son attention attirée sur l'état des tuyaux de sortie d'air d'un compresseur fonctionnant à la houillère de Newbattle, à Dalkeith. Ces tuyaux aboutissant au réservoir d'air ont 0,152 *m* de diamètre intérieur, ils sont en fonte avec des brides boulonnées entre lesquelles le joint est fait par une rondelle de caoutchouc. Les tuyaux ont 15 *m* de longueur et l'air est à la pression de 3 1/2 *kg* par centimètre carré ; le cylindre de la pompe de compression a 0,61 *m* de diamètre sur 1,22 *m* de course, il est placé dans une bâche contenant de l'eau qui est le seul moyen de refroidissement employé.

On observe régulièrement la température de l'air comprimé, température qui, pour une pression de 3 1/2 *kg*, varie de 145 à 170° centigrades ; c'est la température ordinaire de l'air à la sortie du compresseur dans les systèmes où on n'emploie pas d'autre agent de refroidissement que de l'eau à l'extérieur du cylindre.

L'auteur remarqua que les tuyaux dont il vient d'être question étaient plus chauds que d'habitude, mais il ne pensa pas que cela fût assez grave pour arrêter la marche du compresseur ; bientôt les joints des tuyaux commencèrent à fuir et on observa des étincelles, sortant des joints avec l'air, tandis que le métal des tuyaux commençait à arriver au rouge sombre. On arrêta la machine et on démonta le tuyautage, les joints étaient carbonisés et tout l'intérieur des tuyaux était recouvert d'un dépôt charbonneux qu'on dut attribuer à la combustion de l'huile employée pour le graissage du cylindre du compresseur.

L'attention fut attirée naturellement sur la nature de cette huile. On employait depuis longtemps de l'huile de lard, mais il fut reconnu que, à ce moment, par défaut momentané de cette matière, on s'était servi d'une autre huile, soi-disant mélange d'huile minérale lourde et d'huile de colza, mais qui fut reconnue pour entièrement composée d'huile minérale lourde, dont le point d'inflammation était d'environ 245° centigrades, et, au lieu d'huile de colza, d'un mélange d'huile de coton et d'une huile minérale légère.

L'auteur a fait une comparaison entre les diverses circonstances des deux cas de Ryhope et de Newbattle, en établissant les similitudes et les différences.

Les points communs sont la présence d'huiles minérales légères et la température élevée constatée. Les différences sont la production d'une explosion dans un seul des cas, la proximité du réservoir et du compresseur dans le cas où l'explosion est survenue, la purge régulière quotidienne du réservoir à Newbattle ; l'indication donnée, dans ce dernier cas, de l'élévation de la température par la combustion des joints. Enfin il n'y avait pas de poussière de charbon à Newbattle et il y en avait à Ryhope.

On peut conclure de cette comparaison que l'élévation de la température est due dansles deux cas à la combustion de l'huile et que, s'il ne s'est pas produit d'explosion à Newbattle, c'est parce que la purge du réservoir y prévenait une accumulation d'huile, que la distance relativement considérable entre la pompe et le réservoir modérait l'élévation de la température, et enfin que la combustion des joints fut une indication qui obligea à arrêter la machine et prévint probablement un accident.

Il est facile de comprendre que le mélange d'air et des vapeurs ou gaz produits par la distillation des matières grasses peut arriver à la proportion d'un mélange détonant, et, quant à la cause de l'inflammation, on peut admettre que, si l'air a normalement une température de 180 degrés à la sortie des clapets de refoulement d'un compresseur, la température peut bien, à l'intérieur de celui-ci et au moment de la compression maxima, atteindre un degré assez élevé pour enflammer une particule de graisse ou un filament quelconque organique qui, projeté avec l'air lors du refoulement, amènera l'allumage du mélange.

Il est certain qu'il reste un point obscur dans ces explications. Ce point nous paraît avoir été élucidé par une lettre du professeur Bodson qui a été lue au cours de la discussion.

Le professeur rappelle que l'accident de Ryhope soulève deux questions: 1° celle de la production d'une température assez élevée pour déterminer l'inflammation d'un mélange détonant; 2° celle de la formation de ce mélange.

Il a fait quelques expériences dans lesquelles il a constaté que, si l'on chauffe du poussier de charbon en présence d'un courant d'air, l'inflammation de ce poussier peut se produire à une température variant de 145 à 155 degrés centigrades. De plus, si ce poussier est additionné de 30 0/0 de son poids d'huile du genre de celle dont on se servait à Ryhope pour le graissage du compresseur, la température d'inflammation devient un peu plus élevée, et la combustion est beaucoup plus lente; en fait, le poussier ne s'enflamme que lorsque la plus grande partie de l'huile a été volatilisée.

M. Bodson, se basant, tant sur ses expériences que sur quantité de faits bien connus, d'un genre analogue, pense que la chaleur développée par l'oxydation soit de matières grasses, soit de poussière de houille en présence de l'air comprimé peut être très suffisante pour enflammer ces matières ou pour produire l'explosion du mélange avec l'air des vapeurs résultant de la distillation de ces matières grasses.

Il est dificile de mettre en doute la possibilité d'une action de ce genre, lorsqu'on considère les nombreux cas d'incendie causés par l'échauffement spontané des déchets de laine ou de coton imbibés d'huile (1). L'explication paraît donc des plus admissibles. Il semble cependant que, si elle est exacte, la nature des huiles de graissage devient d'un intérêt un peu secondaire, le mieux serait de ne pas graisser, ou, tout au moins, de combattre l'élévation de température de l'air comme on le fait dans les systèmes modernes de compresseurs, notamment dans le compresseur Colladon.

On a également dans la discussion rappelé que les deux cas cités, celui de Ryhope et celui de Newbattle, n'étaient pas uniques.

Le 16 août 1887, un réservoir d'air a fait explosion à la mine de Carn Bora, dans les Cornouailles: c'était une ancienne chaudière à vapeur, de 9 *m* de longueur sur 1,83 *m* de diamètre, en tôle de 7 *mm.* 1/2 d'épaisseur. L'explosion fut très violente et on l'attribua à l'inflamma-

(1) Nous avons cité un cas de combustion spontanée de l'acier très divisé, dans la Chronique d'octobre 1887, page 322.

tion à l'intérieur d'un mélange d'air et des vapeurs de l'huile minérale employée au graissage du compresseur.

Nous croyons que ces faits doivent attirer l'attention des industries qui emploient l'air comprimé et les mettre en garde contre la production d'accidents de ce genre dont les conséquences pourront être plus ou moins sérieuses.

Formation de la rouille. — Le professeur Crum Brown d'Édimbourg a présenté au dernier meeting de l'*Iron and Steel Institute* d'intéressantes observations sur les réactions chimiques qui constituent la formation de la rouille.

Il s'agit, bien entendu, de l'oxydation du fer métallique sous l'influence des agents atmosphériques ordinaires et non de la corrosion en présence de vapeurs acides contenues accidentellement dans l'air,

Les conditions nécessaires pour la formation de la rouille sont : 1° le métal à nu à la surface ; 2° de l'eau à l'état liquide ; 3° de l'oxygène ; 4° de l'acide carbonique, ces deux gaz étant en dissolution dans l'eau.

Le fer n'est pas attaqué dans une atmosphère contenant de l'oxygène, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau tant que l'eau ne se dépose pas à l'état liquide sur le métal.

De l'eau, à l'état liquide, pure de gaz en dissolution, n'attaque pas le fer aux températures modérées. A chaud et très rapidement au rouge, le fer s'oxyde en présence de la vapeur d'eau et se recouvre d'une couche d'oxyde magnétique adhérente. On sait qu'on a basé sur cette réaction un système efficace de préservation du fer.

L'oxygène seul n'agit pas sur le fer aux températures ordinaires ; à chaud il donne lieu à la formation d'oxyde magnétique.

Il en est de même de l'acide carbonique qui n'agit pas à froid, mais qui, au rouge se réduit en oxyde de carbone, cédant au fer son équivalent d'oxygène pour la formation d'oxyde magnétique.

L'eau contenant de l'oxygène en dissolution n'agit pas sur le fer à la température ordinaire.

On le constate en mettant du feu dans de l'eau aérée et contenant de la chaux ou un alcali ; le fer n'est pas attaqué, parce que l'acide carbonique est fixé par la chaux ou l'alcali,

De l'eau contenant de l'acide carbonique en dissolution attaque le fer à la température ordinaire, en formant du carbonate ferreux qui se dissout dans l'eau à la faveur de l'excès d'acide carbonique sous forme de bicarbonate ferreux. On prépare de cette façon des eaux ferrugineuses artificielles. Dans cette réaction il y a un dégagement d'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau, mais, s'il y a de l'oxygène libre dans l'eau, l'hydrogène s'y combine et ne devient pas apparent. Avec une quantité illimitée d'oxygène et d'acide carbonique, le fer disparaitrait entièrement sans laisser de traces visibles.

Lorsqu'une dissolution de bicarbonate ferreux est exposée à une atmosphère ne contenant ni oxygène libre ni acide carbonique, elle perd un équivalent d'acide carbonique et il se précipite du carbonate ferreux. S'il y a de l'oxygène libre, le carbonate ferreux se suroxyde et passe

à l'état d'hydrate ferrique, l'acide carbonique sedég ageant et restant en dissolution dans l'eau.

Ces réactions étant posées, voici comment s'explique la formation de la rouille,

Cette formation comprend deux périodes ; la première la production du bicarbonate ferreux soluble; la seconde, la transformation de ce bicarbonate en carbonate blanc puis, progressivement, en hydrate ferrique, couleur de rouille.

Il est à remarquer que l'acide carbonique en dissolution dans l'eau qui intervient ne disparait pas, il est restitué et agit indéfiniment tant qu'il y a de l'eau et de l'oxygène. En outre, la couche de rouille qui se forme à la surface du fer a une nature poreuse et hygroscopique qui facilite grandement l'attaque subséquente du métal. C'est pour cela qu'un morceau de fer qui a commencé à se rouiller continue à s'attaquer avec une énergie de plus en plus grande s'il reste dans un endroit contenant de l'humidité.

A la suite de cette communication, plusieurs membres ont témoigné des bons résultats qu'ils avaient obtenus pour la conservation de chaudières et récipients en tôle de fer en mettant de la chaux dans l'eau.

Chemin de fer Fell à la Nouvelle-Zélande. — Le plan incliné de Rimutaka à la Nouvelle-Zélande est exploité depuis 1880 avec des locomotives à rail central du système Fell. Nous avons donné, dans la chronique de juillet 1861, p. 1886, quelques renseignements à ce sujet.

M. J.-P. Maxwell a récemment communiqué à *l'Institution of Boil Ingineers* de nouveaux détails sur les résultats obtenus de cette exploitation après quelques modifications qui ont dû être apportées aux machines.

La pente du plan incliné de Rimutaka est de 66 millièmes et il y a un certain nombre de courbes de 100 *m* de rayon. La longueur est de 4 800 *m*.

Le trafic dans les deux sens a été pendant l'année qui s'est terminée le 31 mars 1888 de 50 000 *t* de charge payante, y compris le transport des voyageurs évalué à la même fraction que les marchandises par rapport au poids mort. Le coût du service de la locomotion a été, pendant cette période, de 0,25 *f* par tonne de poids payant et par kilomètre. Ce chiffre peut être considéré comme élevé, mais il ne faut pas perdre de vue que les conditions de l'exploitation des chemins de fer sont des plus défavorables à la Nouvelle-Zélande. Les salaires y sont extrêmement élevés. Ainsi, les ouvriers ordinaires sont payés 8 *f*, et les ajusteurs et forgerons 10 à 12 *f* par journée de 8 heures ; les machinistes gagnent 10 à 15 *f* par jour et les chauffeurs de 9 à 11 *f*. Le charbon coûte 22 *f* la tonne.

Voici, du reste, quelques chiffres statistiques relatifs à ce sujet pour l'année qui a fini le 31 mars 1888 :

Parcours total des trains	*Km*	17 483
— — des machines.		24 182
Consommation de charbon par kilomètre	*Kg*	31,16
— d'huile —		0,04
— de suif —		0,03

Dépenses par kilomètre de parcours de machine.	Conduite. . . . . *F.*	0,82
	Combustible	0,65
	Fournitures	0,03
	Réparations	1,21
	Total.	2,71

Depuis l'ouverture du plan incliné au service, il a été apporté, comme nous l'avons dit, beaucoup d'amélioration aux machines Fell, notamment à deux locomotives fournies depuis cette ouverture. Les modifications représentent ce que l'expérience a appris quant au fonctionnement de ces machines.

Les roues horizontales, dont la jante était primitivement cylindrique ont eu cette jante tournée au profil du rail central ; avec cette forme. l'adhérence est de beaucoup augmentée et il n'y a plus besoin d'employer le sable. La flexion des ressorts de suspension étant très faible, la forme en gorge des jantes n'a pas d'inconvénient. Les boutons de manivelles ont reçu la forme sphérique, pour obvier à un léger déplacement des roues horizontales lorsque la jante est usée ou que la roue s'écarte accidentellement du rail. Comme on ne se sert des roues horizontales qu'à la montée, on a modifié le changement de marche primitif du mécanisme correspondant pour le remplacer par une commande simple. L'avance sur les tiroirs de ces machines, qui donnait des chocs considérables sur les engrenages, a été réduite et les roues dentées en fonte travaillent d'une manière très satisfaisante.

La distribution Joy, employée pour le mécanisme extérieur, fonctionne bien ; l'usure est à peine sensible au bout d'un an de service.

A la descente, on envoie un filet de vapeur dans les cylindres pour les lubrifier ; on envoie aussi un jet d'eau sur le rail central en avant des sabots de frein pour rafraichir le rail et mouiller les traverses de support qui, sans cela, pourraient prendre feu pendant la saison sèche. D'ailleurs, les freins agissent moins brutalement sur le rail mouillé et les sabots ont une durée triple. On arrose aussi les bandages des roues arrière, tant à la descente qu'à la montée, pour mouiller les rails et réduire la résistance des trains ainsi que l'usure des rails et des bandages. Cet emploi abondant de l'eau donne de très bons résultats.

On a mis des tuyaux à sable à toutes les roues accouplées verticales. Lorsque deux machines sont attelées à un train, si les rails sont gras, la première machine ne patine pas grâce à l'emploi du sable, mais la seconde patine si on n'a pas soin d'enlever le sable laissé par la première ; on le fait avec un jet d'eau de la seconde machine, lequel lave le sable qui est remplacé par du nouveau.

La connexion des leviers des régulateurs a été supprimée et chaque régulateur est maintenant manœuvré séparément ; cette disposition évite la suppression simultanée de l'envoi de la vapeur aux deux machines, lorsqu'une seule vient à patiner.

On opère par traction à la montée, c'est-à-dire les machines en tête ; seulement, pour éviter des efforts trop considérables sur les attelages, lorsqu'on attelle deux ou trois machines, on dispose le train de manière que chaque machine soit attelée à la charge qui lui correspond. Cette

manière d'opérer donne de bons résultats et les ruptures d'attelage sont devenues très rares.

Il est alloué 45 minutes pour l'ascension du plan incliné de station à station avec 65 *t* de charge brute, machine non comprise; la vaporisation de la machine est suffisante, sans qu'on ait besoin de forcer le feu. On traine souvent 70 *t*, mais c'est le maximum possible. Ceci pour les trains de marchandises. Pour les trains mixtes, la charge est de 60 *t* et le temps alloué de 40 minutes; ces vitesses correspondent à 6,4 et 7,2 *km* à l'heure. Avec les roues à adhérence seules, la machine peut remorquer 30 *t* et, avec le rail central seul, 40 *t*.

Comme nous l'avons déjà dit, on attelle suivant la charge à trainer, une, deux et même trois machines en intercalant les machines supplémentaires dans le train pour soulager les attelages. Le trafic est assez intermittent, à cause de sa nature qui consiste en grande partie en transport de bétail, lequel arrive parfois en énorme quantité et doit être expédié sans délai. Si le trafic était plus régulier, les dépenses de traction seraient notablement réduites par la meilleure utilisation des machines.

La faible vitesse de marche, qui est d'ailleurs bien suffisante, étant donnée la différence de niveau franchie, réduit l'usure du matériel et la dépense de combustible et donne une grande sécurité. En somme, depuis huit ans, le système Fell a donné de bons résultats et paraît bien approprié à l'exploitation des fortes rampes avec courbes de faible rayon.

La capacité de trafic d'un plan incliné de ce genre est limitée par sa longueur. Ainsi un tracé comme celui-ci, de 4 à 5 *km* de longueur, sur lequel on remonte des charges de 180 *t* avec une durée de une heure et demie pour aller et retour, permet un trafic à la montée de 1 440 *t* brutes par 24 heures, soit un peu plus de 500 000 *t* par an.

La capacité de trafic d'un tracé composé d'une série de plans inclinés séparés par des paliers pour changements de voie, prises d'eau, etc., serait évidemment la même.

La navigation fluviale en Allemagne. — Le *Bulletin du Ministère des Travaux publics* donne, d'après un rapport de M. Henri Belle, consul général de France, publié dans le *Moniteur officiel du Commerce*, les chiffres ci-dessous qui permettent de se rendre compte de l'importance de la navigation fluviale en Allemagne. Ces chiffres s'appliquent aux bateaux, marchandises et bois flottés dont le passage a été constaté en 1887 sur les fleuves et canaux suivants, ainsi qu'aux localités indiquées ci-dessous :

1° Sur le Niemen, à Schmaleningken ;
2° Sur la Vistule, à Thorn ;
3° Sur le canal de Bromberg, à la 2e écluse ;
4° Sur l'Oder, à Ohlau ;
5° Sur la Sprée, à Berlin ;
6°, 7° et 8° Sur l'Elbe, à Hambourg, au gué de Neuland et à Schandau ;
9° Sur le Weser, à Brême ;
10° Sur l'Ems, à Nieppen ;
11° et 12° Sur le Rhin, à Emmerich et à Mannheim ;
13° Sur la Sarre, à Gudingue ;

14° Sur le canal de la Marne au Rhin, à Altkirch (frontière d'Alsace).

Le mouvement total, en amont et en aval, constaté à ces 14 localités, a atteint, en 1887, les proportions suivantes :

132 863 bateaux chargés et 35 989 bateaux non chargés, soit en tout 168 852 bateaux jaugeant 28 577 000 *t*, contre 157 722 bateaux jaugeant 26 210 000 *t* en 1886, et contre 146 378 bateaux jaugeant 22 951 000 *t* pour la moyenne des années de 1881 à 1885. (Les données sont incomplètes pour les années antérieures à 1881).

La totalité des marchandises embarquées sur ces bateaux s'est élevée en 1887 à 17 568 000 *t*, en 1886 à 16 002 000 *t*, et pendant la moyenne des années de 1881 à 1884 à 14 318 000 *t*.

L'augmentation du mouvement général aux 14 localités indiquées plus haut a donc été en 1887, par rapport à la moyenne des années précédentes :

Pour le nombre des bateaux, de . . . . 15,4 0/0 ;
Pour la capacité de jauge, de . . . . 24,5 0/0 ;
Et pour la quantité de marchandises embarquées, de 22,7 0/0.

Le bois de flottage ayant traversé les 14 localités en question a atteint en 1887 le chiffre de 2 217 000 *t*, en 1886 celui de 2 061 000 *t* et dans la moyenne des années 1881-1885 celui de 2 318 000 *t*. Comparée à ce dernier chiffre, la diminution pour 1886 est de 11,1 0/0 et pour 1887 de 4,4 0/0.

Berlin, Hambourg et Emmerich sont les points les plus importants de la navigation fluviale allemande.

Pour Berlin, le mouvement donne lieu aux chiffres suivants :

Moyenne des années 1873-1875	En amont	2 008 000 *t*
	En aval	742 000 *t*
Année 1887.	En amont	2 564 000 *t*
	En aval	1 665 000 *t*

Il résulte de ces données que ce sont surtout les arrivages en aval qui ont augmenté ; en 1873-1875 ils ne formaient que 27 0/0 du mouvement total, et en 1887 ils atteignaient déjà 40 0/0.

En ce qui concerne Hambourg, le chiffre des marchandises qui ont remonté l'Elbe a passé de 438 000 *t* (moyenne des années 1872-1875) à 1 247 000 *t* (chiffre de l'année 1887), soit 285 0/0 d'augmentation. Le mouvement des marchandises descendant l'Elbe et arrivant à Hambourg a passé, pendant les mêmes périodes, de 256 000 *t* à 1 321 000 *t*, soit une augmentation de 417 0/0.

Enfin, quant à Emmerich, le transit en amont (marchandises venant des Pays-Bas), qui était de 818 000 *t* dans la moyenne des années 1873 à 1875, s'est élevé en 1887 à 2 226 000 *t*, soit une augmentation de 172 0/0, et le transit en aval (marchandises se rendant dans les Pays-Bas), qui était de 1 554 000 *t* dans la moyenne des années 1873 à 1875, s'est élevé en 1887 à 2 730 000 *t*, soit une augmentation de 75,7 0/0.

Le chemin de fer du Pilate. — Le chemin de fer à crémaillère qui a été établi sur le mont Pilate en Suisse présente des dispositions nouvelles et intéressantes.

Il franchit entre Alpnach et le sommet du Pilate une différence de

niveau de 1 634 *m* sur un développement de 4 450 *m*. Le tracé exigeait l'emploi d'inclinaisons allant jusqu'à 48 0/0, pour lesquelles l'emploi de locomotives devenait impossible à moins d'abandonner la forme ordinaire de crémaillère à denture verticale. Les auteurs du projet, MM. Locher, ont eu l'idée d'employer une crémaillère à double denture horizontale et deux pignons à axe vertical. En fait ce n'est autre chose, sauf les détails de construction, que la disposition de notre collègue, M. Agudio, telle qu'elle a été appliquée, d'abord au chemin de fer d'expériences de Lanslebourg, puis à la Superga.

Ce système se prête facilement à la circulation en courbes. Au Pilate, le rayon minimum est de 80 *m*; l'écartement des rails est de 0,80 *m*.

Toute l'infrastructure est établie en maçonnerie à laquelle sont fixées les traverses en fer qui portent les rails et la crémaillère.

Il y a quatre pignons dentés, deux de chaque côté; deux de ces pignons sont moteurs, les deux autres servent de frein.

La longrine en fer qui porte la crémaillère est embrassée par des galets horizontaux qui empêchent tout mouvement latéral, de sorte que les roues de support ont pu être faites sans rebords.

La locomotive et la voiture sont réunies; on peut y recevoir 30 voyageurs. La chaudière est placée en travers, avec son axe perpendiculaire à l'axe de la voie.

Les pistons actionnent un arbre à manivelles portant un pignon faisant mouvoir un arbre auxiliaire qui, par des roues d'angle, commande les arbres verticaux des pignons moteurs, une sorte d'accouplement différentiel permet aux pignons de suivre librement le développement de chacun des côtés de la crémaillère qui se trouve différent dans les courbes.

Il y a deux freins à main : l'un agissant sur l'arbre moteur, l'autre sur les roues dentées libres, le frein à air ordinaire du Righi, et enfin un système automatique pour serrer les freins dès qu'à la descente la vitesse dépasse la limite de 1,30 *m* par seconde.

Enfin, des griffes embrassent la longrine pour assurer la stabilité de la voiture contre les coups de vent qui sont très forts à cette hauteur.

Voici les dimensions principales de la voiture-machine :

Diamètre des cylindres	0,228 *m*
Course des pistons	0,300
Nombre de tours normal	180
Surface de chauffe de la chaudière	20 m^2
Pas de la crémaillère.	0,086
Poids de la voiture vide.	5 700 *kg*
Poids en charge complète	10 500
Largeur maxima.	2 200
Longueur totale	10 400

On a exécuté le travail depuis le bas, en se servant de la locomotive pour monter les matériaux et exécuter au fur et à mesure la construction et la pose de la voie. On a terminé ces jours derniers et on compte ouvrir la ligne au service au mois de juin.

Nous pouvons ajouter qu'une des voitures-machines du chemin de fer de Pilate se trouve dans la section suisse à l'Exposition universelle de 1889.

Tôles minces de Russie. — Le *Journal of the Iron and Steel Institute* donne quelques renseignements sur la fabrication de tôles spéciales de très faible épaisseur qui se fait dans l'Oural.

On se sert des minerais des mines de Maloblagodatj qu'on traite au bois pour les convertir en fonte laquelle est ensuite puddlée ou traitée par un procédé analogue à la méthode Franc-Comtoise. Le fer est laminé en feuilles d'environ 0,75 *m* de côté avec un grand nombre de passes sur les deux sens. On les recuit ensuite et on les lamine de nouveau sur plusieurs épaisseurs superposées avec du charbon de bois pulvérisé entre deux. Les feuilles sont amenées ainsi aux dimensions de 1 *m* sur 1,40 *m*. Ces tôles triées avec soin sont mises par paquets de 60 à 100 et recuites pendant six heures dans une chambre presque étanche. On les martèle ensuite avec un marteau pesant 1 *t* dont la paume a 0,35 *m* sur 0,15 *m*. Après 90 coups de marteau répartis sur toute la surface, on recuit le paquet, et on le martèle de nouveau. Le finissage se fait par martelage avec un marteau dont la paume a 0,50 *m* sur 0,40 *m* ; les feuilles acquèrent un poli presque comparable à celui d'un miroir, et une coloration grise due à un oxyde qui les préserve contre les agents atmosphériques. Cet oxyde est adhérent et ne se détache pas lorsqu'on ploie la feuille avec les doigts. Les feuilles coupées aux dimensions de 1,40 $\times$ 0,70 *m* pèsent de 4, 5 a 5, 4 *kg*, ce qui donne une épaisseur de 5 à 6 dixièmes de millimètre. Il n'y a aucun secret pour la fabrication de ces tôles, mais simplement des soins particuliers de travail.

On peut voir à l'Exposition un spécimen de ces tôles sur l'enveloppe de chaudière de la locomotive exposée par la fabrique de machines de Winterthur, dans la section suisse.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

DÉCEMBRE 1888

Rapport de M. GAUTHIER-VILLARS sur le **cachet-crampon** de MM. BLANZY-POURE et Cie.

Le cachet-crampon est un petit disque métallique portant normalement à sa surface et sur toute sa circonférence des griffes. En rabattant les griffes au moyen d'un outil sertisseur, on ferme une enveloppe de lettre de manière à assurer d'une manière absolue le cachetage sans entrainer les inconvénients de la cire et de la gomme. Les griffes étant rabattues à l'intérieur, le décachetage est impossible.

Rapport de M. BRULL sur la **machine à cigarettes perfectionnée** de M. SCHAEFFER.

Il s'agit d'une modification à la machine du même inventeur déjà présentée à la Société d'Encouragement en 1887, laquelle modification consiste à donner à la table de la machine une forme cylindrique qui rend le fonctionnement plus simple.

Rapport de M. BOITEL sur les **travaux exécutés dans l'Oued Rir,** sous la direction de M. ROLLAND, Ingénieur des mines.

Ces travaux consistent dans le défrichement et la mise en valeur principalement par la plantation de palmiers de près de 1 500 hectares de terrains, opération qu'a permise la création de nombreux puits artésiens, dont le volume d'eau collectif atteint 21 m^3 par minute.

Rapport de M. LAVALARD sur **divers systèmes de colliers pour chevaux.**

Discours prononcé par M. LECOEUVRE aux obséques de M. PIHET.

Discours prononcé par M. LIEBAUT aux obséques de M. PIHET.

Note sur la **Tour Eiffel.**

JANVIER 1889

Liste des membres du conseil pour l'année 1889.

Rapports sur **l'état financier** de la Société.

Allocution de M. Becquerel, Président.

Notice biographique sur M. Hervé-Mangon, vice-président de la Société, par M. Schloesing.

Distribution des récompenses.

Détermination de l'indigotine dans les divers indigos du commerce, par M. Ch. Ramson. — (Traduit du *Chemical News*).

Inflammabilité des bois. — Il s'agit des expériences de MM. Boudin et Donny, dont nous avons rendu compte dans la chronique de déccembre 1887.

Point de congélation des mélanges d'eau et de glycérine. (Traduit du *Journal of the Society of Arts*).

FÉVRIER 1889

Rapport de M. Brüll sur la **machine à vapeur Wheelock**, construite par M. de Quillack, à Anzin.

Cette machine qui est un perfectionnement du type du même inventeur de 1878, est caractérisée par l'emploi de quatre distributeurs qui, au lieu d'être comme précédemment des distributeurs coniques oscillants, sont des tiroirs plans à grille. Ces grilles sont fort ingénieusement disposées, elles ont la forme de bouchons qui se fixent à frottement dur dans les cavités coniques destinées à recevoir les anciens distributeurs. Le mécanisme de commande de la distribution est resté le même que précédemment.

Rapport de M. H. Le Chatelier sur le **métal Delta**. Le rapport donne les résultats de quelques essais faits au chemin de fer du Nord sur ce remarquable alliage dont nous avons parlé dans la chronique d'octobre 1884, page 426. Des barreaux forgés ont donné des résistances à la rupture allant jusqu'à 55 *kg*, avec un allongement minima de 23 0/0. La seule difficulté qui soit signalée, est la difficulté de refondre le métal sans altération.

Rapport de M. de Luynes sur le procédé de **coloration des métaux pour la passementerie** de M. Helouis.

Cette coloration n'est plus opérée comme précédemment par la pile, mais simplement au moyen de l'oxydation par la voie sèche, à des températures variées. La fabrication des fils irisés de M. Helouis donne lieu à un chiffre d'affaires de 5 à 600 000 francs par an et occupe une quarantaine d'ouvriers.

Rapport de M. Muntz sur les procédés de M. Ernest Milliau pour reconnaître la **falsification de l'huile d'olive** par les huiles de graines et en général des huiles les unes par les autres.

Note de M. E. Milliau sur la **falsification de l'huile d'olive** et sur des procédés nouveaux ou perfectionnés pour le reconnaître.

Notice biographique sur M. H. Debray par M. L. Troost.

Congrès des industriels de France. — Résumé des vœux émis au Congrès à propos de la loi sur les accidents du travail.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Décembre 1888.

La garantie d'intérêts et son application en France à l'exécution des travaux publics par M. Colson, ingénieur des Ponts et Chaussées, maître des requêtes au Conseil d'Etat.

Cette étude très considérable, sur une question très contreversée, a pour objet de donner une idée des charges qui pourront incomber à l'avenir au Trésor, par suite des engagements déjà pris vis-à-vis des Compagnies, de rechercher les règles de conduite à adopter pour éviter l'accroissement indéfini de ces charges vis-à-vis tant des entreprises existantes que de celles pour lesquelles la garantie de l'Etat sera réclamée à l'avenir, enfin d'examiner les conditions nécessaires pour que la concession avec garantie d'intérêts constitue un système rationel d'exécution des travaux.

L'auteur examine successivement le jeu de la garantie à l'égard des grandes Compagnies telle qu'elle a été établie par les conventions de 1859 et que celles de 1883, et le jeu de la garantie à l'égard des Compagnies secondaires, chemins de fer d'intérêt local et tramways et enfin l'application de la garantie d'intérêt aux entreprises agricoles et notamment à celles des associations syndicales.

Il nous paraît intéressant de reproduire le résumé et les conclusions de cet important travail.

Si on considère que la somme pour laquelle les grandes compagnies de chemins de fer font appel à la garantie pour l'exercice 1887 s'élève à 55 millions, en comptant une dépense de 36 millions pour les entreprises secondaires, chemins de fer algériens, réseau secondaire d'intérêt général chemins de fer d'intérêt local et tramways, chemins de fer coloniaux, etc, on peut évaluer à 80 ou 90 millions, et cela pendant de longues années,

les sommes à débourser annuellement pour les garanties d'intérêt, et bien que ces allocations n'aient que le caractére d'avances, il serait très imprudent de faire actuellement état de leur remboursement. Il semble donc indispensable, dans cette situation, de les considérer comme une des charges normales du budget et de les faire rentrer dans les crédits à couvrir au moyen des ressources ordinaires de chaque exercice. Depuis quelques années, on a fait de la garantie un des services spéciaux du Trésor, assuré au moyen de l'émission d'obligations à court terme; ce système pouvait se justifier, lorsqu'on avait lieu d'espérer pour une partie des avances, un remboursement assez rapide pour constituer un actif sérieux en regard des charges de ce service spécial.

Continuer à l'appliquer dans la situation actuelle, ce serait en réalité fausser les budgets en imptant sur fonds d'emprunt des dépenses qui ont malheureusement un caractère presque permanent et dont le remboursement, très lointain dans tous les cas, est même absolument impossible pour une fraction très importante. Il est à désirer que les pouvoirs publics comprennent bientôt la nécessité de renoncer à une pratique fondée sur des motifs qui ont cessé d'être en accord avec les faits.

On ne doit pas, toutefois, conclure que la garantie d'intérêt soit une combinaison condamnée par l'expérience et que son emploi soit une erreur.

La garantie d'intérêts a rendu de grands services en permettant la constitution puis l'extension du réseau des chemins de fer français, et peut fournir souvent une solution satisfaisante du problème de l'association de l'Etat et de l'industrie privée, en réunissant la solidité du crédit public avec l'esprit d'initiative et d'économie qui distingue en général les entreprises particulières. Mais, pour que cette association procure réellement des avantages, elle doit conserver son caractère et le concessionnaire ne doit pas être tranformé en un simple régisseur pour le compte de l'Etat.

Garantir un revenu à une Compagnie ou à un Syndicat, c'est les exonérer de certains risques dans la réalisation de ce revenu; ce n'est pas et ce ne doit pas être leur attribuer un revenu qu'il leur serait éternellement impossible de trouver dans les recettes de l'entreprise.

La préoccupation des pouvoirs publics et de l'administration doit être aujourd'hui d'éviter que les suites de la crise industrielle et commerciale que nous venons de traverser puisse enlever aux Compagnies l'espoir d'échapper un jour à la garantie.

Il est nécessaire, pour les Compagnies secondaires, que les concessions soient instituées dans des conditions telles que ce soit l'intérêt du concessionnaire de développer le trafic, comme c'est celui de l'Etat et du public. Si ces précautions ont pour effet d'empêcher la réalisation d'entreprises improductives, ce ne serait pas un grand mal.

L'auteur termine par ces remarques significatives :

1° Il n'y a aucun avantage à être garant d'une dette plutôt que débiteur principal, dès qu'il est évident que le débiteur n'est pas en état de payer; 2° quand on prend un associé en le chargeant de la gérance de l'affaire commune, il importe moins de réduire la part de cet associé, que de l'intéresser à faire prospérer l'entreprise.

Note sur un **suçon pour les travaux de réparation à exécuter sous l'eau,** aux murs de quais et aux divers organes des écluses, par M. Préverez, ingénieur des ponts et chaussées.

On a essayé, à Saint-Nazaire, de remplacer, pour la visite de certaines pièces immergées, telles que poulies de retour de chaînes de manœuvre de portes d'écluses, etc., le travail des plongeurs par le travail à l'air libre à l'abri d'un batardeau volant.

L'appareil se compose d'une caisse fermée sur trois faces et dont la quatrième s'appuie contre le bajoyer ou mur de quai ; un lest tend à le maintenir vertical et à équilibrer en partie la sous-pression. Pour mettre le suçon en place, on le lance à l'eau et on l'amène avec des cordages contre le bajoyer, des bourrelets facilitent l'application et assurent une étanchéité suffisante. On vide l'eau avec une pompe et la pression extérieure applique la caisse contre le mur.

Cet appareil est peu coûteux d'établissement, 400 *f* environ, et d'un emploi économique.

Le chemin de fer du mont Pilate (Extrait de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie* 000). Voir la chronique de ce bulletin, page 000 ci-dessus.

SOCIETÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Réunions de Saint-Étienne

Séance du 2 mars 1889.

Relief du bassin houiller de la Loire. — Ce relief exécuté sous la direction de M. Perrier, chef du service des plans à la Société des Houillères de Saint-Étienne, pour le compte de cette Société comprend la représentation hypsométrique à l'échelle de 1 à 5,000 dans toute l'étendue de l'arrondissement de Saint-Étienne :

1° De la surface ;

2° De la huitième couche du système inférieur de Saint-Étienne ;

3° De la forme que doit présenter le fond du bassin houiller reposant sur les terrains anciens.

Ce relief doit figurer à l'Exposition ainsi qu'un modèle au dixième d'un chantier en grande taille, d'après la méthode employée dans les travaux de la 13me couche au puits Saint-Louis. Il y aura aussi un appareil évite-molettes système Villiers employé sur les machines d'extraction de la Société des houillères de Saint-Étienne.

Note de M. MORTIER sur sa **fontaine hydropneumatique.**

Cet appareil a pour objet l'élévation d'un liquide au-dessus de son niveau par l'action d'une chute. Il comprend deux organes agissant d'une façon inverse. D'abord un *tube compresseur* où l'air est comprimé à une pression qui peut être bien supérieure à la hauteur de la chute, puis un *tube élévateur* dans lequel s'effectue l'élévation du liquide par l'action de l'air comprimé.

Pour l'intelligence du principe, on peut se représenter deux tubes verticaux plongés dans un trou de sonde l'un à côté de l'autre. Le premier va du bief d'amont au fond du trou, l'autre du fond du trou a une hauteur supérieure au bief d'amont; il y a au fond du trou une cloche ou aboutissent les deux tubes. Ceci posé, tant que le volume d'eau qui alimente le bief dépasse celui que le tube peut débiter, l'eau passe du bief d'amont au bief d'aval en descendant par le premier tube et en remontant par le puits, mais si la masse d'eau affluente devient inférieure à ce débit, le niveau de l'eau du bief d'amont découvre l'orifice du tube descendant et il se précipite dans ce tube un mélange d'air et d'eau, cet air se comprime et va se réunir dans la cloche dont il a été question. Là il réagit sur le liquide et le refoule dans le tube ascendant. Il y a un effet analogue à celui bien connu de la trompe.

Le rendement total de l'appareil en eau montée varie de 16 à 25 0/0. Le mouvement est à peu près continu dans le tube compresseur et il est généralement périodique dans l'élévateur.

Prix de revient de la fonte à Ilsède (Allemagne). — Ces renseignements sont extraits d'une étude de M. F. Lürmann sur la fabrication de la fonte aux usines de la Société d'Ilsède, en Westphalie, d'après lesquels ces usines produiraient la fonte à des prix inférieurs à ceux de toute autre usine métallurgique.

Pour ne citer que deux chiffres, le prix de la tonne qui était en 1857 de 52,30 *f* avec du minerai coûtant 11,05 *f* s'est abaissé en 1887 à 28,75 *f* soit la moitié environ avec du minerai coûtant 24,18 *f* la *t*, soit plus du double. Les fontes d'Ilsède sont principalement employées à la fabrication de l'acier Thomas.

Note de M. DUCASSE sur le **pétrole et son raffinage en Gallicie.**

Cette note donne des renseignements très détaillés sur les gisements de pétrole de la région voisine des Carpathes où il existe, comme on sait, des exploitations considérables, sur le sondage canadien qui est le plus employé, étant simple, rapide et peu coûteux comme installation et sur l'exploitation proprement dite.

L'auteur donne également des renseignements sur le raffinage et sur les usines dans lesquelles il s'effectue, notamment celles de Libusza, de Peczynyzyn et de Kolomea.

INSTITUT ROYAL DES INGÉNIEURS HOLLANDAIS (1)

Livraison du 24 janvier 1889.

Communication de M. Gosschalk sur la **résistance des pilotis** et sur la **construction d'un ascenseur**.

Commnnication de M. Hauet sur la construction perfectionnée d'**une roue à aubes inclinées**.

Communication de M. Deking-Dura sur le **régime de quelques petites rivières** d'après les plus récentes observations.

Livraison du 13 février 1889.

Effet accéléré des **freins à air comprimé**, par M. A. Kapteyn. — Description détaillée des perfectionnements apportés et proposés aux freins Carpenter et Westinghouse, notamment en vue de l'accélération à obtenir dans leur action.

Livraison du 5 avril 1889.

Communication de M. Voorduin sur les **travaux de fondations en pilotis** destinées à supporter des charges très considérables et réparties sur une faible surface.

Communication de M. Conrad sur la **hauteur projetée du busc des nouvelles écluses** du canal d'Amsterdam à la mer du Nord.

Les dimensions de l'écluse actuelle étant reconnues insuffisantes, le gouvernement néerlandais se propose d'en construire une nouvelle ayant 205 mètres de longueur, 25 de largeur, et 9 de profondeur du busc au-dessous du niveau ordinaire du canal, de manière à livrer passage en toutes circonstances aux navires ayant 8 à 9 mètres de tirant d'eau.

M. Conrad, inspecteur du Waterstaat, a démontré qu'à l'avenir le port d'Amsterdam n'aura rien à craindre sous ce rapport de la concurrence des ports étrangers. Il a étudié les améliorations exécutées ou projetées pour les divers ports de l'Europe et de l'Amérique ; il a pris comme points de comparaison les ports d'Anvers, du Havre, de New-York, le nouveau canal maritime allemand entre la Baltique et la mer du Nord, le canal de Manchester, ceux de Suez et de Panama. M. Conrad fait observer à ce sujet que, la plupart de ces ports ou canaux étant soumis à l'action des marées, le canal maritime d'Amsterdam, qui est soustrait à cette influence, se trouvera dans des conditions bien plus favorables.

Dans la discussion qui a suivi cette communication, divers membres

(1) Résumé communiqué par M. J. de Koning.

ont émis l'opinion que pour être à l'abri des éventualités que, l'avenir peut nous réserver au sujet des dimensions des navires et pour assurer au port d'Amsterdam une supériorité constante sur les autres ports de mer, il serait prudent d'augmenter de 0,75 à 0,85 *m* la hauteur d'eau projetée sur le busc des nouvelles écluses. Ce serait d'autant plus utile que la position du port d'Ymuiden, entrée du canal sur la mer du Nord, est extrêmement favorable et que la profondeur d'eau s'y maintient dans les meilleures conditions.

Livraison du 12 avril 1889.

Mémoire de MM. Van-Hasselt et de Koning sur les **machines d'épuisement** du polder Lijmers.

Le polder Lijmers, d'une superficie de 6 000 *ha* environ, laisse écou ler l'excès de ses eaux dans la rivière d'Yssel. Comme parfois le niveau de cette rivière ne permettait pas ce déversement alors qu'il était nécessaire et que les récoltes (en grandes parties de foin) se trouvaient perdues, on a dû recourir à l'écoulement artificiel des eaux, c'est-à-dire à leur élévation par une machine d'épuisement.

On a installé trois pompes centrifuges pouvant élever 120 m^3 chacune à une hautenr de 3,40 *m*. Les pompes sont du système Brodnitz et Seydel, de Berlin. Chacun est mue par une machine Compound.

Le mémoire est accompagné de plusieurs planches et des renseignements sur les frais d'installation, etc. Les machines et les pompes ont coûté 130 000 *f*, les bâtiments, fondations, terrains temporaires qui étaient assez considérables) etc., 360 000 *f*.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 14. — *6 avril 1889.*

Notes sur l'Exposition universelle de Bruxelles en 1888, par Fr. Freytag.

Appareils pour la sécurité des ouvriers à l'Exposition industrielle du Jubilé, à Vienne, en 1888, par Max Kraft.

Régularisation de la pression dans les usines à gaz. — Théorie des régulateurs d'usines, par E. Ledig *(fin)*.

Calcul des dimensions des conduites dans les installations de chauffage à vapeur, par Herm. Fischer.

Chemin de fer. — Détermination de la portée des travées dans les ponts de chemins de fer, par Fr. Engesser.

Groupe de Hanovre. — Appareils pour tirage forcé. — Analyse chimique du vin et détermination de la valeur œnologique. — Canal du Rhin à l'Elbe.

Assemblée générale des maîtres de forges allemands, à Dusseldorf, le 17 mars 1889. — État de l'industrie du fer et de l'acier. — Traverses en bois et traverses métalliques.

Patentes.

Correspondance. — Machines Corliss.

N° 15. — *13 avril 1889.*

Notes sur l'Exposition universelle de Bruxelles en 1888, par Fr. Freytag *(fin).*

Appareils pour la sécurité des ouvriers à l'Exposition industrielle du Jubilé, à Vienne, en 1888, par Max Kraft *(suite).*

Groupe du Rhin inférieur. — Usure des essieux.

Groupe du Westphalie. — Augmentation de la charge des trains de chemins de fer.

Patentes.

Bibliographie. — Machines dynamo-électriques, par Silv. Thompson, traduction allemande de C. Grawinkel.

Correspondance. — Diagrammes de la machine Corliss de Clausthal. — Réglementation des écoles techniques moyennes.

Variétés. — Appareil d'alimentation pour chaudières de M. de Chalus. — Exposition des procédés de conservation des bières à Berlin en 1889. — Bronze. — George-Simon Ohm.

N° 16. — *20 avril 1889.*

Pont de chemin de fer sur le Missouri à Randolph Bluffs, près Kansas City, par R. Bosse.

Conduites de distribution, par Ph. Forcheimer.

Appareils pour la sécurité des ouvriers à l'Exposition industrielle du Jubilé, à Vienne, en 1888, par Max Kraft *(suite).*

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Progrès dans les conducteurs électriques pour grande distance.

Patentes.

Bibliogaphie. — Adhérence entre les rails et les bandages, de Bœdecker.

Correspondance. — Machines Corliss

Variétés. — Législation des chaudières à vapeur. — Économie de combustible réalisée par le tirage forcé. — Superstructure sur les chemins de fer de l'État prussien. — Laboratoire d'électricité et d'essais à Francfort-sur-le-Mein.

N° 17. — *27 avril 1889.*

Transport électrique de la force, par W. Dietrich.

Pont de chemin de fer sur le Missouri à Randolph Bluffs, près Kansas City, par R. Bosse *(fin).*

Appareils pour la sécurité des ouvriers à l'Exposition industrielle du Jubilé, à Vienne, en 1889, par Max Kraft *(fin).*

Expériences sur la résistance des assemblages par rivets, par Fr. Engesser.

Groupe de Thuringue. — Communication des paratonnerres avec les conduites de gaz et d'eau. — Nouvelle grille et nouvelle disposition de chauffage.

Chemins de fer en Amérique.

Patentes.

Correspondance. — Machines Corliss. — Superstructure des chemins de fer.

Variétés. — John Ericsson. — Nouveau joint de tuyaux. — Feuilles de cuivre fabriquées par l'électrolyse. — Exposition industrielle à Hambourg.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. MALLET.

PARIS. — IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20 — 11630-5-9.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

MAI 1889

N° 5

Sommaire des séances du mois de mai 1889.

1° *Décès* de MM. L. Lemoine, L.-J. Rocaché, P.-L.-O. de Ridder (Séance du 3 mai, page 733).

2° *Réception des Ingénieurs étrangers* (Séance du 3 mai, page 733).

3° *Congrès international des Architectes en 1889*, lettre de M. Ch. Lucas (Séance du 3 mai, page 734).

4° *Historique de la déphosphoration sur sole en France,* par M. A. Lencauchez, observations de M. F. Gautier, réponse de M. A. Lencauchez et lettre de M. Euverte (Séances des 3 et 17 mai, pages 735, 745 et 746).

5° *Gaz à l'eau*, par M. E. Cornuault (Séance du 3 mai, page 737).

6° *Éclairage électrique de l'Exposition universelle*, par M. A. de Bovet (Séance du 3 mai, page 743).

7° *Assemblée générale de la Société* (Séance du 17 mai, page 744).

8° *Emprunt de 75 000 f, fait par la Société* (Séance du 17 mai, page 744).

9° *Décorations et nominations* (Séance du 17 mai, page 745).

10° *Congrès international de navigation intérieure de Francfort*, lettre de M. J. de Coëne (Séance du 17 mai, page 746).

11° *Balance électrique (la)*, par M. J. Pillet, lettre de M. Ch Lartigue (Séance du 17 mai, page 746).

12° *Congrès de sauvetage*, lettre de M. E. Cacheux (Séance du 17 mai, page 747).



13° *Colmatage de la Crau et le desséchement des marais de Fos (Le)*, par M. A. Dornès (Séance du 17 mai, page 747).

14° *Principe Compound et son application aux locomotives*, par M. A. Pulin, et observations de M. E. Polonceau (Séance du 17 mai, page 751).

Pendant le mois de mai, la Société a reçu :

30580 — De M. William Jackson, *Twenty-second annual Report of the City Engineer of Boston for the Year 1888* (22e rapport annuel de l'Ingénieur de la ville de Boston pour l'année 1888). — Boston, Rockwell and Churchill, 1889 ; in-8 de 128 pages.

30581 — De M. H. Hervegh (membre de la Société) *Francoforte e il Meno* (Francfort-sur-le-Mein), par J. Maganzini, *Canalizzazione del Meno d'a Francoforte à Magonza* (Canalisation du Mein. de Francfort à Mayence. — Extrait du Giornale del Genio civil 1888), Roma, 1888 ; in-8 de 13 pages.

30582 — Du ministère du Commerce, de l'Industrie et des Colonies, *Congrès international de mécanique appliquée de 1889. — Exposition universelle internationale de 1889*, Paris, Imprimerie Nouvelle, 1889 ; grand in-8 de 8 pages.

30583 — De M. de Koning, membre de la Société, *Het Stoomgemaal voor het Polderdistrict " de Lijmers "* door J. Van Hasselt en J. de Koning. (Mémoire sur les machines d'épuisement du polder Lymers.) Te' sgravenhage (La Haye), 1889 ; in-f° de 10 pages.

30584 à 30749 — De MM. Alfred et Gustave Tresca, membres de la Société; 166 brochures formant l'ensemble des travaux de M. H. Tresca, ancien Président de la Société.

30750 à 30791 — Des mêmes, 42 brochures complétant l'ensemble des travaux du général Morin et faisant suite à celles annoncées dans la séance du 26 avril dernier.

30792 à 30811 — De M. Gustave Tresca, 20 brochures représentant l'ensemble des travaux de la Commission internationale du mètre.

30812 — Des mêmes, *Des Machines à vapeur*, tome Ier, Production de la vapeur par A. Morin et H. Tresca, Paris, 1863 ; L. Hachette et Cie, grand in-8 de 546 pages.

30813 — De M. F. Paponot (membre de la Société), *Canal de Panama. — Doit-on reprendre les travaux avec les capitaux privés ?* — Paris, Baudry et Cie, 1889 ; in-8 de 64 pages.

30814 — De M. Ch.-P. Sandberg (membre de la Société), *De l'emploi des rails lourds au point de vue de la sécurité et de l'économie.* — Liège et Paris, C. Borrani, 1889 ; in-8 de 31 pages (6 exemplaires).

30815 — De M. E. Cacheux (membre de la Société), *Projet de réglement international pour éviter les abordages*, par M. E. Guillou. — Paris, Monrocq, 1879 ; atlas de 32 pl.

30816 — De M. de Coëne (membre de la Société), *Congrès international de navigation intérieure de Francfort*. — Rouen, E. Deshaye et C[ie]. 1888 ; grand in-8 de 15 pages.

30817 — Du même, *Note sur les travaux d'amélioration de l'estuaire de la Tess à propos des projets d'amélioration de l'estuaire de la Seine*. — Rouen, E. Deshayes et C[ie], 1889 ; grand in-8 de 16 pages.

30818 — De M. Manuel Ponce de Léon, *Anales de Ingenieria, Organo de la Sociedad Colombiana de Ingenieros*. — 20 premiers numéros parus de août 1887 à mars 1889 (publication mensuelle). — Bogota, 1887 à 1889 ; in-8. (Annales des Ingénieurs et Organe de la Société colombienne des Ingénieurs.)

30819 — De l'*Association lyonnaise d'appareils à vapeur*. — *Rapports annuels. Exercices 1877 à 1882*. — Lyon, A. Stork, 1877 à 1882 ; in-8.

30819 (*bis*) — De la même, *Association de propriétaires d'appareils à vapeur. Compte rendu des séances du 13e Congrès des Ingénieurs en chef tenu à Paris les 11, 12 et 13 novembre 1888*. — Lyon, A. Stork, 1889 ; in-8 de 284 pages.

30820 — De M. Dwelshauver-Dery (membre de la Société), *Note sur la théorie des condenseurs*. — Liège, Desoer, 1889 ; in-8 de 18 p.

30821 — De M. A Rebière. *Mathématiques et mathématiciens, Pensées et curiosités recueillies par l'auteur*. — Paris, Nony et C[ie]. 1889 ; in-8 de 280 pages (2 exempl.).

30822 — De M. A. Mallet (membre de la Société), *Chemin de fer à fortes rampes et à crémaillères. — Traction soit par locomotives, soit par câbles funiculaires (Système Riggenbach)*. — Zurich, Orell Füssli et C[ie], 1889 ; in-8 de 23 pages.

30823 — De M. le baron G. Bertrand (membre de la Société), *Cours élémentaires de minéralogie et de géologie*. — Paris, Masson, 1854 ; in-12 de 295 et de 348 pages en un seul volume, par F.-S. Beudan.

30824 — Du Gouvernement du Bengale, *Revenue Report of the Publics Works Department Irrigations Branch, Bengal for the Year 1887-1888*. — Calcutta, 1889 ; in-4 de 68 pages. (Rapport du département des Travaux publics du Bengale sur le revenu des irrigations pour l'année 1887-1888.)

30825 — De M. Enrique Heriz, *Ferrocarriles de 75 cm*. — San Felice de Guixols, Y. Gener, 1889 ; grand in-8 de 210 pages. (Chemins de fer de 75 *cm*.)

30026 — Du *Chemin de fer Grand Central Belge. Direction des voies et travaux. Compte rendu de l'exercice 1888*.— Bruxelles, 1889 ; in-4 de 48 pages, autographie,

30827 — De M. Fayol (membre de la Société), ***Étude sur le terrain houiller de Commentry. — Flore fossile. Livre II. 1re partie, par M. Zeiller.*** — Saint-Étienne, Théolier et Cie, 1888; grand in-8 de 366 pages et atlas in-folio de 52 pl.

30828 — De M. A. Pulin (membre de la Société), ***Expériences de traction faites en service courant sur la locomotive Compound à quatre cylindres n° 701 du chemin de fer du Nord.*** — Paris, Veuve Ch. Dunod, 1887; grand in-8 de 52 pages.

30829 — De M. James Ladame, ***Chemin de fer de Calais à Milan. Ligne directe par Belfort, Berne, la Gemmi et le Simplon. Réduction de 80 km sur le parcours actuel. — Les grands tunnels des Alpes et du Jura.*** — Paris, Dubuisson et Cie, 1889; grand in-8 de 288 pages.

Les membres nouvellement admis comme membres sociétaires sont, MM. :

E.-E. Aimond,	présenté par MM.	Groselier, Garcenot et Fortin.
G.-A. Badon-Pascal,	—	Canet, de Nansouty et Arquembourg.
A. Bloche,	—	Grisel, Schmidt et Pettit.
A.-J. Bonna,	—	Remaury, Valton et de Nansouty.
J.-L. Borreau,	—	Polonceau, Petitjean et Gruner.
P.-E. Clémenceau,	—	Eiffel, Salles et Périssé.
A.-G. Da Cunha,	—	Gottschalk, Sauvan-Deleuze et Michaux.
H.-C. Demolliens,	—	de Coëne, Poncin et Mallet.
G. Duclout,	—	Eiffel, Carimantrand et Mallet.
H.-G. Féolde,	—	Contamin, Forest et Carcenat.
L.-P. Galinet,	—	Pillichody, Jouffret et Blanleuil.
G. Hersent,	—	Eiffel, Hersent et Reymond.
H. Laligant,	—	Buquet, Carimantrand et Mallet.
A. Lardy,	—	Carimantrand, Mallet et Lévi.
L.-J. Leduc,	—	Joly de Bammeville, Pettit et Bouniol.
E. Mougin,	—	Carimantrand, Mallet et Lévi.
P. Narcy,	—	Polonceau, Gruner et Petitjean.
C.-H. Regnard,	—	Pettit, Schmidt et Bouniol.
A. Robinet,	—	Blot, Couriot et Finol.
A. Rouart,	—	Carimantrand, Herscher et Rouart.
E.-W. Windsor,	—	Pinel, Martin et Gibault.
P. Zivy,	—	Eiffel, Jousselin et Bert.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MAI 1889

Séance du 3 mai 1889.

PRÉSIDENCE DE M. E. POLONCEAU, *Vice-Président*.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 26 avril est adopté sous réserve des quelques rectifications typographiques mentionnées en *errata* à la fin du présent procès-verbal.

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer le décès :

1° De M. Lucien Lemoinne, ancien ingénieur principal des chemins de fer de l'Ouest, chevalier de la Légion d'honneur ;

2° De M. Louis-Jules Rocaché, maire du onzième arrondissement de Paris, chevalier de la Légion d'honneur, officier de l'Instruction publique ;

3° De M. Pierre-Léopold-Octave de Ridder.

Quelques membres de la Société voudront bien, sans nul doute, dire quelques mots, dans une prochaine séance, sur ces regrettés collègues.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître que le Comité de la Société s'est beaucoup préoccupé, ces derniers temps, de la question de la réception des ingénieurs étrangers qui viendront à Paris visiter l'Exposition universelle.

Une Commission a été nommée à l'effet d'étudier les dispositions à prendre pour rendre à ces ingénieurs l'accueil si cordial que la Société en a reçu lors de ses visites à l'étranger, en Belgique et en Espagne notamment.

Pour faire face aux dépenses assez considérables auxquelles donnera lieu cette réception, le Comité, après un examen approfondi des différentes solutions possibles, propose un emprunt de 75 000 francs. Une circulaire prochaine donnera des renseignements complémentaires à ce sujet.

Cette proposition sera soumise à l'approbation de la Société qui se réunira à cet effet en Assemblée générale extraordinaire le 17 mai courant.

M. le Président engage vivement nos collègues à ne pas manquer d'assister à cette réunion.

Il est donné communication de la lettre suivante, adressée à la Société par M. Charles Lucas, secrétaire du Congrès international des architectes en 1889 :

« Monsieur et honoré Président,

» J'ai l'honneur de vous demander de vouloir bien annoncer à la So-
» ciété des Ingénieurs civils qu'un Congrès international des Architectes
» aura lieu à Paris du 17 juin au 22 juin prochain.

» La présence, dans le Comité de patronage de ce Congrès, de plusieurs
» ingénieurs illustres français et étrangers, parmi lesquels deux anciens
» Présidents de la Société, MM. Reymond et Emile Trélat, et la nature
» des questions portées au programme, questions intéressant peut-être
» autant les ingénieurs civils que les architectes, font espérer qu'un
» certain nombre de membres de la Société voudront bien adhérer au
» Congrès, au sujet de l'organisation duquel je serai, si vous voulez bien
» m'y autoriser, heureux de donner quelques renseignements à nos Col-
» lègues en attendant que les documents préparatoires du Congrès, ac-
» tuellement sous presse, puissent être transmis gratuitement à ceux
» d'entre eux qui voudront bien en faire la demande.

» Veuillez agréer, etc.

» Charles Lucas. »

M. Charles Lucas complète verbalement les indications données dans sa lettre. Il appelle l'attention de la Société sur certaines questions figurant

---

Les renseignements ci-dessous, relatifs à divers Congrès, complètent ceux précédemment donnés dans les procès-verbaux des séances des 15 février, 1er et 15 mars et 26 avril.

CONGRÈS DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE. — Aura lieu du 6 au 21 septembre.

Composition du Bureau. — MM. Philipps, président; Gottschalk et Farcot, vice-présidents; A. Tresca, M. de Nansouty et L. Boudenoot, secrétaires.

Sujets soumis a la discussion. — Unification du cheval-vapeur. — Choix des métaux les plus propres à la construction des pièces de machines. — Production mécanique et utilisation du froid artificiel. — Transmission à distance et distribution du travail par les procédés autres que l'électricité. — Machines à vapeur à détente dans plusieurs cylindres successifs. — Machines thermiques autres que les machines à vapeur d'eau.

Sujets a traiter en conférences. — Progrès réalisés par les machines à vapeur depuis 1878. — Progrès réalisés par les appareils à production de vapeur. — Étude des principaux types de chaudières à petits éléments.

Toutes les communications doivent être adressées à M. L. Boudenoot, secrétaire du Congrès. 213, boulevard Saint-Germain.

CONGRÈS DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE. — Aura lieu du 2 au 11 septembre.

Composition du Bureau. — MM. Castel, président ; Brüll, Haton de la Goupillière, S. Jordan, Remaury, vice-présidents, Dujardin-Beaumetz, F. Gauthier. E. Gruner, Lodin, secrétaires.

Questions a traiter (Mines). — Lampe de sûreté. — Emploi des explosifs dans les mines. — Applications diverses de l'électricité aux travaux souterrains. — Tirage des Mines. — Éclairage. — Signaux. — Transmission de force motrice. — Questions se rapportant à la montée, à la descente et à la circulation des ouvriers mineurs, spécialement question des parachutes et des recettes.

au programme du Congrès international des Architectes et intéressant également les Ingénieurs ; telles sont la fondation de caisses de défense mutuelle destinées à les aider à soutenir les procès en responsabilité qui peuvent leur être intentés, la création de caisses de secours, la protection de la propriété artistique, l'instruction technique des auxiliaires et collaborateurs des architectes et des ingénieurs.

M. le Président dit que la lettre de M. Charles Lucas sera insérée au procès-verbal. Les intérêts des architectes et des ingénieurs sont liés trop étroitement, dit-il, pour qu'un grand nombre de nos collègues ne veuillent prendre part aux travaux du Congrès international des Architectes.

M. Gautier n'ayant pu assister à la séance du 5 avril dernier, présente les observations suivantes au sujet de certaines assertions de M. Lencauchez relatives à l'historique de la déphosphoration sur sole en France.

M. Lencauchez, dit-il, parle de briques qui auraient été faites à Terrenoire, antérieurement au brevet Riley, avec de la chaux ou de la dolomie et du goudron ; M. Gautier a été dix-sept ans ingénieur de la Compagnie de Terre-noire et il n'a jamais entendu parler d'un fait de ce genre. M. Lencauchez aura confondu avec les briques de coke et de goudron dont on faisait la sole des fours à ferromanganèse.

Il ne faut pas exagérer le rôle des ingénieurs français dans la mise en pratique de la déphosphoration sur sole. C'est à eux qu'en est dû le succès, mais il n'est pas nécessaire, pour cela, de chercher à détruire les droits que peuvent avoir des tiers dans les questions de brevets qui s'y rapportent et qui n'intéressent M. Gautier qu'au point de vue de la vérité historique.

(Métallurgie.) — Progrès récents de l'affinage et de la déphosphoration dans la fabrication des fers et des aciers. — Forgeage comparé au pilon et à la presse. — Alliages ferro-métalliques, fabrication, propriétés et emploi. — Nouveaux alliages des métaux autres que le fer, et spécialement du cuivre. — Nouveaux procédés de trempe.

La correspondance doit être adressée à M. Castel, président, 144, boulevard Raspail.

CONGRÈS DE L'UTILISATION DES EAUX FLUVIALES. — Aura lieu du 22 au 27 juillet.

Composition du Bureau. — MM. Guillemain, président ; Cotard et Jacquet, vice-présidents ; Beaurin-Gressier et Flamand, secrétaires.

Questions a traiter. — De l'avenir des canaux d'irrigation. — De l'usage des eaux de rivière pour les distributions d'eau et du meilleur mode de livraison de l'eau à domicile. — De l'aménagement des cours d'eau au point de vue de l'agriculture et de l'industrie. — De la régularisation des cours d'eau au point de vue de la navigation. — De la canalisation des rivières et des divers systèmes de barrages mobiles. — Des meilleurs modes de locomotion des bateaux sur les rivières à courants rapides, sur les rivières canalisées, sur les canaux. — Des élévateurs et plans inclinés pour bateaux. — De l'utilisation des eaux artésiennes.

Conférences. — Des droits individuels et collectifs sur les eaux courantes. — l'utilisation des eaux en Chine. — Historique des améliorations successives de la Seine.

Adresser les adhésions à M. Flamand, 76, avenue de Villiers.

CONGRÈS DE SAUVETAGE. — Aura lieu du 12 au 16 juin.

Composition du bureau. — MM. Lisbonne, président ; Burgues, Nicole et Ragot, vice-présidents ; Cacheux E., secrétaire général trésorier ; Hamon et Potel, secrétaires.

Questions a traiter. — Sauvetage des naufragés sur toutes les côtes. — Sauvetage le

M. Lencauchez dit, d'autre part : « M. Paul Audoin, ingénieur-chimiste à la Compagnie Parisienne du Gaz, a proposé, en 1878, le garnissage neutre en fer chromé. » M. Gautier conteste l'exactitude de cette affirmation : M. Paul Audoin, dit-il, a proposé comme matière réfractaire d'un usage général, l'oxyde de chrome, qui est un produit de laboratoire fort cher ; s'il a indiqué aussi l'emploi du fer chromé c'est en l'agglomérant avec des matières siliceuses ou alumineuses, ce qui n'a aucun rapport avec l'invention de MM. Valton et Remaury, nos collègues, c'est-à-dire l'emploi de blocs de fer chromé réunis par un ciment de chaux et de fer chromé en poudre.

M. Gautier exprime le regret que M. Regnard ne soit pas présent ; il aurait également parlé des expériences de M. Tessié du Motay. M. Regnard n'a pas, selon lui, mis en évidence le véritable rôle de l'inventeur.

M. Tessié du Motay a cherché, sans y réussir, à faire de la déphosphoration en présence de briques de magnésie d'excellente qualité. Mais ce qu'il a le mérite d'avoir découvert, c'est que *l'aigreur communiquée à l'acier par le phosphore peut être atténuée en l'absence du carbone* et il y a été conduit dans ses expériences de Commines, quand la Compagnie de Terre-noire lui a fait connaître le ferro-manganèse et ses propriétés dans la production des aciers doux.

M. Lencauchez dit, en réponse aux observations présentées par M. Gautier, que les usines de Terre-noire ont fait des agglomérés de goudron et de dolomie en 1879, et que le Creusot en a employé à la même époque, comme l'indique la lettre de M. Walrand, lue en séance le 5 avril dernier.

M. Lencauchez répète que les Anglais s'étaient faits breveter en 1878

---

long des fleuves et des rivières. — Sauvetage en cas d'incendie. — Sauvetage dans les rues et sur les routes. — Assurance des marins et assurance des sauveteurs. — Sauvetage des naufragés. — Expériences et divers.

S'adresser pour ce Congrès à M. Cacheux, 25, quai Saint-Michel.

CONGRÈS DES HABITATIONS A BON MARCHÉ. — Aura lieu du 26 au 28 juin.

Composition du bureau. — Siegfried Jules, président ; Picot, Dietz-Monnin et E. Muller, vice-présidents ; Raffalovich A. et Roulliet A., secrétaires ; E. Cacheux, trésorier.

Questions a traiter. — Des habitations à bon marché au point de vue économique et financier. — Des habitations à bon marché au point de vue de la législation. — Des habitations à bon marché au point de vue de la construction et de la salubrité. — Des habitations à bon marché au point de vue moral.

Adresser les communications concernant ce Congrès à M. Siegfried, 6, rond-point des Champs-Elysées.

CONGRÈS DES ÉLECTRICIENS. — Aura lieu du 24 au 31 août.

Composition du bureau. — MM. Mascart, président ; Lippmann, Fontaine, Gariel, vice-présidents ; Hillairet, Hospitalier, de Nerville, secrétaires ; Lemonnier, trésorier.

Questions a traiter. — Mesures électriques. — Machines d'induction. Transformations, Distribution. — Electro-chimie. — Éclairage. — Télégraphie. — Téléphone. — Applications diverses. — Electro-physiologie.

Adresser toutes les communications à M. Mascart, 44, rue de Rennes.

MM. les Secrétaires de ces Congrès ont bien voulu, au nom des divers Comités, nous adresser des lettres invitant les membres de notre Société à prendre la plus large part aux travaux de ces Congrès. Nous sommes heureux de saisir cette occasion de les remercier.

postérieurement aux Français, dont le brevet pour ce genre d'agglomérés remonte à 1865, et qu'à cette date déjà reculée, on avait fait de l'agglomération à la chaux. M. Lencauchez ajoute qu'il est impossible de préciser où la chaux et la magnésie commencent et finissent pour devenir de la dolomie; ainsi certaines magnésies contiennent jusqu'à 20 0/0 de chaux tandis que certaines chaux comme celle de Coulommiers contiennent 20 0/0 de magnésie.

M. Lencauchez déclare avoir dit, en outre, que c'était à des Français qu'était venue l'idée de faire usage de matières basiques; c'est cette idée qu'il considère comme le point de départ de l'emploi de la dolomie en 1879; mais il n'a nullement l'intention de discuter la question de savoir si ce sont des Anglais ou des Français qui ont, les premiers, fait usage de la dolomie recommandé en 1875 par M. Gruner.

Quant à la déphosphoration, M. Lencauchez dit que M. Regnard, dans la séance du 15 mars, a déclaré qu'à Commines et non pas à Terre-noire M. Tessié du Motay avait obtenu en 1872, sur sole basique. du métal à 10 0/0 d'allongement et à 69 *kg* de résistance par *mm²* de section.

Du reste, M. Euverte qui assistait à la séance du 15 mars, où il a pris la parole plusieurs fois, n'a signalé aucune erreur de la part de M. Lencauchez en ce qui concerne les essais faits à Terre-noire.

Les briques employées par M. Tessié du Motay étaient très remarquables, et c'est en les analysant que M. Lencauchez a pu trouver le moyen d'en faire de nouvelles.

En ce qui concerne la fabrication sur sole neutre, M. Lencauchez ne recherchera pas si M. Audoin a pensé à faire le garnissage en fer chromé, ou bien seulement en oxyde de chrome; toujours est-il que l'oxyde de chrome a été abandonné et remplacé par le fer chromé, mais le mémoire du 1er mars 1876 de M. Audouin dit bien nettement que pour les usages industriels c'est au fer chromé à 45 0/0 d'oxyde de chrome qu'il faut avoir recours.

Ce minéral a été employé, notamment en Russie, aux aciéries d'Alexandrowich. Les ingénieurs de cette usine sont venus monter à Seraing, des fours avec garniture en dolomie, car ils avaient déjà depuis longtemps abandonné le fer chromé qui coûte très cher et pèse très lourd. Le fer chromé fut cependant conservé pour la *jonction*, qui au Creusot et ailleurs est faite avec des briques de magnésie. C'est là, d'ailleurs, une question d'appréciation et de prix de revient. Le fer chromé a été également abandonné à Hennebont et à Morvillars où il a été remplacé par la magnésie de Styrie.

M. le Président dit que les observations de MM. Gautier et Lencauchez seront consignées au procès-verbal et ajoute que l'important était de constater que la priorité du succès, en la matière qui vient d'être traitée, appartient aux Français.

M. le Président donne la parole à M. E. Cornuault, pour présenter ses observations sur la question du *Gaz à l'eau* traitée dans l'ouvrage du Dr Laffont, dont M. Gassaud a donné une analyse dans une précédente séance.

M. Cornuault s'exprime ainsi : Dans la séance du 15 mars dernier, notre collègue M. Gassaud a présenté très complètement une analyse d'un livre de M. le Dr Laffont, sur le « Gaz à l'eau ». Notre honorable vice-président, M. Contamin, qui présidait la séance, ajoutait, en remerciant M. Gassaud de sa communication, que cette question du gaz à l'eau soulevait, il est vrai, bien des objections, tant au point de vue hygiénique, qu'au point de vue économique. Il terminait en disant qu'il était trop tard pour les discuter, et qu'on les examinerait dans une prochaine séance.

Ce sont les objections probablement visées par M. Contamin, qui en ajoutera peut-être d'autres, que M. Cornuault demande la permission de résumer très brièvement :

Je crois, dit M. Cornuault, qu'en ces matières si graves, puisqu'elles touchent à la vie humaine, il est du devoir de ceux qui, par profession, se sont occupés de la question, de ne point garder le silence et de ne pas laisser passer sans réponse certains dires à la tribune de la Société des ingénieurs civils :

Le gaz à l'eau est, comme on sait, un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone ; il contient environ 40 à 45 0/0 de ce dernier gaz.

Le gaz à l'eau n'est pas nouveau :

Ebelmen s'en est occupé en 1838, dit M. Gassaud. Bien avant, il était étudié par Gingembre en 1816, puis par Ibbetson en Angleterre. En 1834, Selligna montait, avec le concours de Jobard, une usine de gaz à l'eau aux Batignolles, qu'il abandonna bientôt; puis Leprince, de Liège, appliquait la vapeur d'eau pour gazéifier le coke résidu de la distillation de la houille pour gaz d'éclairage, etc.

Le gaz à l'eau est donc, je le répète, loin d'être nouveau ; mais il a cette spécialité d'avoir été souvent présenté comme nouveau, soit sous le nom de gaz à l'eau, soit plus tard sous celui de gaz hydrogène pur, et cela par périodes, par phases. — Après les travaux d'Ebelmen on n'en avait plus guère entendu parler, sauf vers 1846, où Gillard essayait de faire porter à l'incandescence du platine par du gaz à l'eau, mais, vers 1854, il en était derechef question et on organisait une Compagnie de gaz à l'eau, à Narbonne. Une brochure du professeur Verver, de Maestricht, donne, à ce sujet, des détails circonstanciés.

C'est vers la même époque qu'un préparateur de chimie à l'Ecole centrale. M. Jacquelain, prenait un brevet pour le gaz dit hydrogène pur et faisait intervenir une réaction spéciale en faisant passer de la vapeur d'eau sur le mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone. On n'en entendait plus parler, sauf dans une nouvelle période, récente, celle-là, il y a quatre ou cinq ans.

Vers 1884, on s'est, en effet, beaucoup occupé dans la presse, au Conseil municipal, d'un certain procédé dit procédé Hembert et Henry, procédé de fabrication d'hydrogène pur. Ce procédé ressemblait à s'y méprendre au procédé deM. Jacquelain.

Le silence s'est fait peu après sur la question, de même que dans les périodes précédentes.

Enfin, nous semblons être entrés depuis quelques mois dans une nou-

velle période : le gaz à l'eau, assez usité en Amérique, je dirai pourquoi tout à l'heure, a passé l'Atlantique, et on a cherché à constituer diverses sociétés en Angleterre, en Allemagne ; une véritable campagne en faveur du gaz d'eau a été commencée.

C'est surtout aux Etats-Unis, ai-je dit, qu'on s'est occupé de la question du gaz à l'eau. C'est, qu'en effet, les conditions dans lesquelles se trouvent les Etats-Unis, ne sont pas comparables aux nôtres. Aux États-Unis, il n'y a pas de charbons à gaz, ou plutôt, s'il y en a, ils sont fort éloignés, et il est plus simple et moins coûteux de les faire venir d'Angleterre ; mais, en revanche, il y a de l'anthracite et du pétrole à bon marché, de sorte que, après avoir fait passer de la vapeur d'eau sur l'anthracite, et obtenu un gaz non éclairant, on peut le carburer au moyen de dérivés du pétrole, pour lui donner le pouvoir éclairant qui lui manque. On a donc des raisons spéciales, en Amérique, pour employer dans une certaine mesure, malgré tous ses inconvénients, le gaz à l'eau, raisons qu'on n'a nullement en France, car en France il est beaucoup plus simple de distiller de la houille pour avoir un gaz éclairant par lui-même.

Il est vrai que le prix de revient du gaz à l'eau serait infiniment moindre, dit-on, que celui du gaz de houille, mais il faut s'entendre sur ce qu'on appelle le prix de revient : le seul prix de revient sérieux pour un gaz d'éclairage, n'est pas le prix de revient à l'usine, mais bien le prix de revient au bec.

Ce qui coûte fort cher dans l'industrie du gaz, ce sont les frais de distribution, de canalisation, les fuites, enfin les frais généraux. Or, le gaz à l'eau, pour produire un effet utile, soit comme puissance calorifique, soit comme éclairage, exige un volume plus que double de celui du gaz de houille ; et les dépenses de canalisation croissant en raison du volume à distribuer, il en résulte que, quand bien même le gaz à l'eau reviendrait moins cher à l'usine que le gaz de houille, il ne s'ensuivrait nullement que, étant donnés la différence de volume nécessaire pour produire un même effet utile, les frais de carburation, etc., le prix de revient au bec ne serait pas supérieur.

Je vous citerai quelques chiffres, et je les puiserai dans une communication déjà ancienne de notre collègue M. Lencauchez : il trouvait pour la puissance calorifique du gaz à l'eau 2,710 calories, et pour celle du gaz d'éclairage ordinaire 5,650 calories, soit plus du double ; j'ai d'autres chiffres témoignant d'un écart plus grand encore. Il en serait de même pour l'éclairage, et il faut ajouter le coût du peigne de magnésie si on n'emploie pas le gaz carburé ; il faut naturellement tenir compte de toutes ces considérations si on veut faire une comparaison sérieuse.

Je passe d'ailleurs sur ces faits qui sont trop connus de toutes les personnes compétentes ou renseignées, et j'arrive à l'objection principale sur laquelle je vous demande, au contraire, la permission d'insister tout spécialement : je veux parler du danger que présente l'emploi du gaz à l'eau :

Le gaz à l'eau est surtout, comme je l'ai dit, un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène, près de la moitié est de l'oxyde de carbone. Or, l'oxyde de carbone a une réputation de toxicité parfaitement méritée, et ce n'est pas impunément qu'on en met de pareilles proportions dans

l'atmosphère réduit de pièces à éclairer. Tout récemment, à propos du mode de chauffage des habitations, le Conseil d'hygiène de France nommait une Commission composée de médecins et d'ingénieurs, et M. Michel Lévy, rapporteur, s'exprimait ainsi sur l'influence de l'oxyde de carbone, dans le rapport qu'il faisait adopter dans la séance du 29 mars 1889 : « La toxicité redoutable de ce gaz vénéneux résulte surtout de la propriété » que possède le sang, de le fixer au fur et à mesure de son introduc- » tion dans les poumons et de le transformer en un poison actif des cen- » tres nerveux. » Et il faisait suivre d'une édifiante statistique.

Les renseignements les plus circonstanciés relatifs au gaz à l'eau doivent être surtout puisés aux Etats-Unis, où il a été appliqué dans plusieurs villes par les raisons énoncées plus haut. C'est là qu'il faut s'adresser pour connaître les dangers qu'il présente au point de vue de la sécurité des consommateurs.

A Boston, il y a quelques années, le Conseil d'hygiène chargeait officiellement les professeurs Sedgwick et Nichols, de faire des recherches en commun sur les propriétés vénéneuses du gaz d'éclairage à la houille et du gaz à l'eau. Je citerai quelques extraits :

« Les gaz à l'eau et à la houille, nécessaires pour nos recherches, ont » été pris l'un à Middletown, l'autre à Newton ; on a disposé une » grange de manière à lui donner autant que possible la forme d'une » chambre à coucher. Les premières expériences ont été faites avec le » gaz de houille : des lapins et des pigeons qu'on avait enfermés dans » cette chambre n'ont pas accusé au bout de quatre heures environ » d'autres symptômes qu'un assoupissement. On a fait une seconde ex- » périence et le gaz introduit dans la chambre a fini par se mélanger à » l'atmosphère dans la proportion de 3 0/0. Quoi qu'il en soit, les ani- » maux n'ont pas éprouvé autre chose qu'un malaise insignifiant.

» Mais, dans les expériences postérieures, faites à Middletown avec du » gaz à l'eau, les animaux sont tombés dans une complète prostration » après une heure à peine, et au bout de deux heures ils étaient morts. » La rapidité avec laquelle ils ont été presque foudroyés est des plus sur- » prenantes. D'autres expériences faites avec ce même gaz ont eu aussi » pour résultat de mettre en lumière son influence mortelle. »

Ainsi donc, pour le gaz à la houille il est difficile d'en faire entrer dans une chambre ordinaire une quantité suffisante pour produire l'asphyxie ; mais c'est tout le contraire pour le gaz à l'eau.

Après l'opinion des professeurs Sedgwick et Nichols, je citerai celle d'un de leurs collègues, le docteur Abbot, membre du Conseil d'hygiène. D'après lui, avant 1877, la moyenne des décès dus à l'asphyxie par le gaz ne dépassait pas un par an à New-York ; mais, depuis l'introduction du gaz à l'eau elle a été décuplée. Les suicides au moyen de ce gaz se sont aussi multipliés.

Pour remédier aux inconvénients qu'entraine le gaz à l'eau, on a proposé différents moyens, tels que d'en extraire la proportion nuisible d'oxyde de carbone, d'utiliser des becs de sûreté automatiques ou de perfectionner les systèmes de ventilation ; mais, selon le docteur Abbot, il n'y a pas lieu d'y avoir la moindre confiance.

La commission américaine a formulé un certain nombre de conclusions parmi lesquelles les suivantes :

« Avec les installations de gaz ordinaire il est difficile de charger » l'atmosphère d'une pièce de dimensions habituelles avec plus de 3 0/0 » de gaz d'éclairage s'il n'y a qu'un bec qui livre passage au gaz (bec » ouvert en plein), la proportion de gaz ne peut guère dépasser 1 0/0 en » raison des ouvertures naturelles de ventilation, fentes des portes et » fenêtres, perméabilité des planchers et parois.

» Avec le gaz d'éclairage ordinaire il est, jusqu'à un certain point, » difficile d'amasser dans une pièce de dimensions habituelles, avec un » seul bec, une quantité d'oxyde de carbone suffisante pour causer un » empoisonnement ; *cela est au contraire très facile avec le gaz d'eau* ».

Je passerai maintenant à l'opinion des savants du continent :

Il y a peu de temps, le département de l'industrie du gouvernement Helvétique chargeait une commission composée de M. O. Wyss, professeur d'hygiène à Zurich, de M. Rothenbach, de Berne et de M. J. Lunge, de rechercher les causes des plaintes élevées dans des fabriques où le gaz à l'eau avait été essayé.

Voici quelques extraits du rapport de ces Messieurs :

« Avant que l'on puisse songer à généraliser l'emploi du gaz d'eau » comme agent d'éclairage ou de chauffage, à l'instar du gaz d'éclairage » ordinaire, il faudrait d'abord trouver un moyen de communiquer à ce » gaz inodore par lui-même une odeur beaucoup plus pénétrante et per- » sistante que celle du gaz ordinaire, attendu qu'en raison de la propor- » tion très considérable d'oxyde de carbone qu'il contient, le gaz d'eau » est au moins cinq fois aussi toxique que le gaz d'éclairage.

» Ici, il faut observer, comme l'ont relevé des savants américains » chargés d'une mission analogue aux États-Unis, que, de ce qu'un gaz » contient 2, 3, 5 fois plus d'oxyde de carbone, il ne résulte pas que ce » gaz soit 2, 3, 5 fois plus dangereux ; la toxicité croit en effet bien plus » rapidement que la teneur en oxyde de carbone. »

Le rapport de M. Lunge cite les expériences de la commission américaine et, rappelant les accidents survenus, fait remarquer qu'ils n'avaient pas été seulement produits par du gaz d'eau inodore, mais bien par du gaz d'eau carburé et fortement odorant, lequel avertit au moins, parfois, du danger qu'il présente, mais, de ce dernier M. le Dr Laffont n'en veut pas, nous dit M. Gassaud.

En résumé, la commission suisse, présidée par M. Lunge, recommande une série de précautions qui équivalent à la proscription absolue du gaz d'eau.

Enfin, plus récemment encore, en octobre 1888, le congrès d'hygiène tenu à Vienne, congrès auquel assistaient toutes les notabilités médicales européennes, et parmi elles le doyen de la faculté de médecine de Paris, le professeur Brouardel, s'occupait aussi pendant sa session du gaz à l'eau, et la discussion portait aussitôt sur les dangers que présente ce gaz.

Le professeur Hartmann, de l'École supérieure technique de Charlot-

tenburg, faisait connaitre une statistique concluante de laquelle il résulte qu'en fait, le gaz à l'eau serait au moins 20 fois plus dangereux que le gaz de houille. Voici les chiffres qui ont été également cités à Dusseldorf :

A New-York, bien qu'on se soit très peu servi du gaz à l'eau par rapport à l'emploi qu'on a fait du gaz d'éclairage, de 1880 à 1887 les accidents mortels se sont ainsi répartis :

		Gaz à l'eau.	Gaz de houille.
	1880	18	1
	1881	18	3
	1882	22	2
	1883	20	0
	1884	19	2
	1885	18	0
	1886	35	1
	1887	27	0
	1887 (janvier et février)	7	0
	Totaux	184	9
A Boston de 1880 à 1887 (manquent les chiffres par année)		55	3
A Baltimore	1883	6	
—	1884	3	
—	1885	14	0
—	1886	13	
—	1887	9	
	Totaux	45	0
A Chicago	1886	4	0
—	1887	7	
	Totaux	11	0
	Total général	295	12

De pareilles statistiques paraissent plus concluantes que bien des dires.

Sans doute, comme le dit justement M. le Dr Laffont, le gaz est acheté pour être brûlé et non pas pour être aspiré; mais telle était bien certainement l'intention des victimes précitées, qui n'en ont pas moins péri, le moyen d'empêcher qu'on ne l'aspire, en cherchant à le brûler, ne leur ayant pas été fourni.

Je reviens maintenant à la communication de M. Gassaud :

Notre collègue a eu bien soin, tout en nous présentant l'ouvrage du Dr Laffont, de faire quelques réserves, par exemple de dire que « l'auteur abordait des questions avec lesquelles il est peu familier », « qu'il acceptait quelquefois des opinions qui ne sont pas suffisamment justifiées, et laissait passer des erreurs regrettables » et plus loin « qu'il a actuel-

lement toute l'ardeur du néophyte qui veut faire des prosélytes, ce qui l'entraine à quelques exagérations. »

Je n'ai pas de raisons pour contredire M. Gassaud sur ces points, mais il n'en saurait être de même sur celui que j'ai le plus spécialement visé, — le considérant, je le répète, comme un devoir — le danger du gaz à l'eau. Or, M. Gassaud après avoir insisté sur ce que M. le Dr Laffont a été professeur de physiologie, lauréat de la Société de Biologie, etc., estime que le chapitre le plus intéressant de l'ouvrage du Dr Laffont, sur le gaz à l'eau, est précisément celui qui concerne l'hygiène, car, dit-il, « il émane d'une personne dont la compétence ne saurait être contestée et il va absolument à l'encontre de l'opinion reçue en la matière »

Il y va en effet absolument, en déclarant que le gaz d'eau qui « *dans la conduite peut être considéré comme plus vénéneux que le gaz de houille l'est moins en réalité lorsqu'on le brûle.* »

J'ai répondu par les dires d'autorités de tous les pays, et malheureusement aussi par une statistique nécrologique qui n'a rien de commun avec la biologie, et pour conclure, je me rangerai simplement à l'avis des Ingénieurs très compétents dont parle M. Gassaud sans les nommer, ingénieurs qui pensent que le gaz de distillation de la houille et le gaz des fourneaux suffisent à tous les besoins de l'éclairage du chauffage domestique et de l'alimentation des moteurs à gaz d'une part, du chauffage industriel et en particulier de la métallurgie d'autre part, — sans qu'il soit besoin d'avoir recours au gaz d'eau si funeste à la vie humaine.

M. le Président remercie M. Cornuault de sa communication.

M. de Bovet présente une communication détaillée sur l'*Éclairage électrique de l'Exposition universelle.*

(Cette communication devant être prochainement insérée *in extenso* dans le Bulletin, et n'étant pas de nature à être résumée d'une manière satisfaisante, nous nous bornons ici à en faire mention.)

M. le Président remercie M. de Bovet de sa communication dans laquelle il a fait preuve d'un très grand talent comme ingénieur électricien, et il le félicite de l'intérêt qu'il a su donner à l'exposé des effets obtenus par l'électrité.

Il était tout indiqué de voir porter devant la Société des Ingénieurs civils cette question d'éclairage électrique; la Société tient à être toujours des premières à encourager le progrès ; elle espère que l'Exposition de 1889 va donner un nouvel essor aux applications de l'électricité, car il ne faut pas perdre de temps si on ne veut pas être distancé.

Il est intéressant, à ce sujet, de signaler qu'actuellement aux États-Unis d'Amérique, il existe 30 chemins de fer électriques ayant une longueur totale de 240 kilomètres; l'éclairage électrique emploie 460 000 chevaux-vapeur pour l'éclairage de 195 000 lampes à arc et 1 950 000 lampes à incandescence *(Applaudissements).*

Vu l'heure avancée, la communication de M. Barre sur *le Chemin de fer glissant*, est renvoyée à une prochaine séance.

La séance est levée à dix heures et demie.

Errata du Procès-verbal de la séance du 26 avril 1889.

Page 189 : 2me alinéa, au lieu de 1885, lire 1884.

Page 190 : 3me ligne, au lieu de 1877, lire 1887.
— 3me alinéa, au lieu de 1857, lire 1887.
— 3me alinéa, au lieu de rencontre, lire rencontra.

Assemblée générale du 17 mai 1889.

Présidence de M. G. Eiffel

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. le Président fait donner lecture de la circulaire par laquelle la Société a été convoquée en Assemblée générale extraordinaire, à l'effet de délibérer et de prendre une décision au sujet d'une proposition du Comité, portant emprunt d'une somme de 75 000 *f*, destinée à couvrir les dépenses auxquelles donnera lieu la réception des Ingénieurs étrangers dans l'année courante.

M. le Président déclare l'Assemblée générale constituée et ajoute qu'une somme de 37 500 *f* a déjà été souscrite par anticipation et à titre éventuel.

Après quelques observations de MM. Steinheil et Regnard, M. le Président met aux voix les résolutions ci-après, qui sont votées *à l'unanimité des membres présents moins un :*

« 1° L'Assemblée générale extraordinaire, après en avoir délibéré, con-
» sidérant la nécessité de recevoir les Ingénieurs étrangers qui viendront
» à Paris pendant l'Exposition, approuve le projet d'emprunt qui lui est
» proposé par le Comité.

» 2° En conséquence, l'Assemblée décide qu'il sera créé 1 500 bons de
» 50 francs chacun, exclusivement réservés aux Membres de la Société,
» remboursables au pair dans une période maxima de vingt ans, par ti-
» rages au sort annuels, et rapportant, par an, 3 0/0 d'intérêt net d'impôts.

» 3° Les titres seront signés par le Président et le Trésorier.

» 4° Les coupons d'intérêts seront payables au siège de la Société, le
» 31 décembre de chaque année.

» 5° Les remboursements se feront à partir de 1890.

» 6° Le nombre des bons à rembourser chaque année sera fixé par le
» Comité.

» 7° Les titres seront nominatifs et transmissibles.

» 8° La cession d'un titre s'opérera par un transfert sur un registre » spécial et signé du cédant et du cessionnaire. »

M. le Président dit que la somme que l'Assemblée générale vient d'affecter à la réception des Ingénieurs étrangers sera dépensée avec l'économie qu'il convient. Il est bien entendu que tous les Membres de la Société qui prendront part aux banquets, fêtes et excursions organisés à l'occasion de cette réception, paieront leur contribution personnelle.

M. le Président ajoute qu'un registre de souscription est ouvert au secrétariat et invite les Membres de la Société à se faire inscrire sans tarder, afin que l'emprunt soit couvert le plus rapidement possible.

L'Assemblée générale est déclarée close.

Séance du 17 mai 1889.

Présidence de M. G. Eiffel

La séance est ouverte à neuf heures.

Le procès-verbal de la séance ordinaire du 3 mai est adopté.

M. Lencauchez dépose sur le Bureau une note à l'appui des observations qu'il a présentées dans la dernière séance ; cette note contient des extraits du brevet de M. Paul Audoin en date du 1er mars 1876.

M. le Président dit qu'il n'appartient pas à la Société d'examiner les questions de brevet et d'antériorités : la note de M. Lencauchez ne sera donc pas lue en séance ; ceux des Membres que la question intéresse pourront la consulter au Secrétariat où elle sera déposée. M. le Président ajoute que la correspondance renferme une lettre de M. Euverte, dont il sera fait une analyse succincte, et qui paraît de nature à donner satisfaction à M. Lencauchez en ce qui concerne la déphosphoration sur sole.

M. le Président prononce les paroles suivantes au sujet des distinctions honorifiques dont plusieurs Membres de la Société viennent d'être l'objet.

« Messieurs,

» J'ai un agréable devoir à remplir, celui de faire part à la Société de » la nomination comme officiers de la Légion d'honneur, de nos quatre » collègues, MM. Contamin, Charton, Sédille et Vigreux, et comme » chevaliers de MM. Barbet, Bourdon, Collignon, Mauclère, Mauguin, » Pierron et des Tournelles.

» Ces distinctions sont la récompense de services considérables rendus

» à l'Exposition par les Membres de notre Société, qui ont, soit dans la
» direction, soit dans l'exécution des travaux, joué un rôle si prépon-
» dérant.

» Je ne puis, à mon grand regret, entrer dans le détail de la partici-
» pation de chacun de nos collègues à cette grande œuvre qui a obtenu
» de l'opinion publique le plus mérité des succès. Mais je dois cepen-
» dant, au nom de la Société, adresser des félicitations particulières à
» M. Contamin, pour la belle galerie des machines qui est l'objet de l'ad-
» miration de tous et fait le plus grand honneur au génie français, à
» l'ingénieur en chef adjoint, M. Charton, qui a été son principal colla-
» borateur et à M. Vigreux qui en a organisé le service mécanique avec
» une compétence à laquelle tout le monde rend justice.

» Je prie donc tous ces Messieurs de recevoir les sincères félicitations
» de la Société, et je puis les assurer en son nom de la satisfaction que
» nous éprouvons de leur succès qui est un honneur, non seulement
» pour leurs collègues, mais encore pour le pays. »

M. le Président ajoute que c'est aussi avec un grand plaisir qu'il signale à la Société les autres nominations qui suivent :

Officiers de l'Instruction publique, MM. E. Bixio, Bornèque, Mesureur, Parisse ;

Officiers d'académie, MM. Baclé, Bodin, Escande, H. Rouart ;

Mérite agricole, M. F. Chabrier.

La Société a reçu un certain nombre de lettres dont il est donné une analyse sommaire, ainsi qu'il suit :

1° Une lettre de M. de Coëne accompagnant l'envoi de deux notes, l'une relative au Congrès international de navigation intérieure de Francfort, l'autre concernant les travaux exécutés sur la rivières la Tees.

« Cette dernière note, dit M. de Coëne, fait voir que l'application des
» principes posés au Congrès de Francfort, et que j'avais rappelés dans
» ma lettre en date du 18 octobre 1888 et insérées au procès-verbal de la
» séance de la Société des Ingénieurs civils du 19 octobre, se trouvent
» confirmés par l'éclatant succès obtenu sur la rivière la Tees par des
» travaux exécutés suivant les principes formulés par M. Franzius, de
» Brême.

» Les ports de Stokton et de Middelesbrough, qui autrefois n'étaient
» pas accessibles de nuit pour des navires dont le tirant d'eau n'excé-
» dait pas 3 à 4 m, sont accessibles de jour et de nuit, à toute marée,
» par les plus grands navires de commerce et de guerre. »

2° Une lettre par laquelle M. Lartigue signale qu'il a expérimenté, en 1885, aux mines de Ria, dans les Pyrénées-Orientales, un *plan incliné automoteur* dont la description semble correspondre à celle de la *Balance électrique* de M. Pillet, présentée à la Société dans la séance du 26 avril dernier.

3° Une lettre de M. Euverte, contenant divers renseignements à l'appui des assertions de M. Lencauchez relatives à la déphosphoration au four Martin Siemens, à l'usine de Terre-noire ; cette lettre se termine comme suit : « Il y a lieu de considérer comme absolument vraie

» et indiscutable la date de décembre 1879, pour la mise en pratique, à » l'usine de Terre-Noire, de la fabrication de briques en pisé dolomi- » tique au goudron. »

4° Une lettre de M. Cacheux, annonçant l'envoi d'un exemplaire d'un projet de règlement international pour éviter les abordages.

M. Cacheux appelle l'attention de la Société sur le concours organisé par le Congrès de sauvetage, concours où sera expérimenté le canon porte-amarre de M. d'Apreville. Il demande que la Société veuille bien désigner des délégués pour assister aux expériences et prendre part aux travaux du Congrès.

Conformément au désir exprimé par M. Cacheux, MM. Canet et Faurie sont délégués par la Société pour suivre les expériences dont il s'agit.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Dornès sur le *colmatage de la Crau et le desséchement des marais de Fos*.

(Le mémoire de M. Dornès devant être inséré *in extenso* dans le Bulletin, il ne sera donné ici qu'un résumé succinct de sa communication.)

Colmatage et mise en culture de la Crau. — La Crau est cette grande plaine couverte de cailloux que traverse le chemin de fer de Lyon à Marseille, entre Arles et Miramas, dans le département des Bouches-du-Rhône.

Elle a la forme d'un immense triangle dont le sommet est au col de Lamanon, dans la chaine des Alpines. C'est au-dessous de cette plaine que s'étendent les marais de Fos, qui sont eux-mêmes limités par le canal de navigation d'Arles à Bouc.

Il est aujourd'hui démontré que la Crau est l'ancien cône de déjection de la Durance qui, à une époque très reculée, venait se jeter directement dans la mer Méditerranée en franchissant la chaine des Alpines au col de Lamanon.

De tous temps. des tentatives ont été faites pour gagner à la culture ces immenses territoires en friche. Dès le seizième siècle, en 1559, un ingénieur du nom de Adam de Craponne, exécuta un premier canal d'arrosage dérivé de la Durance, qui permit de commencer la mise en valeur de la Crau. Un second canal, également dérivé de la Durance, fut construit en 1787 par les États Généraux de Provence.

Grâce à ces deux canaux, dont les débits réunis sont d'environ 20 m^3 par seconde, la surface des terres en friche de la Crau, qui était de 40 000 *ha* au seizième siècle, est aujourd'hui réduite à 20 ou 25 000 *ha*.

En présence des résultats ainsi obtenus, de nombreuses études furent faites pour achever cette œuvre de fertilisation de la Crau et, il y a une vingtaine d'années, M. Nadault de Buffon présenta un projet de mise en valeur de la Crau et même des marais de Fos, basé sur le colmatage, c'est-à-dire sur l'apport et le dépôt sur la surface de la Crau et des marais de Fos d'une couche plus ou moins épaisse de limons de la Durance.

Ce projet, qui comportait, d'une part, l'exécution d'un canal de colmatage destiné à dériver de la Durance 80 m^3 d'eau en temps de crue, et

d'autre part, le dessèchement des marais de Fos, fut approuvé par l'État et donna lieu à une concession en 1881.

Une compagnie fut constituée au capital de 6 000 000 *f*, pour la mise en œuvre de cette concession.

Le premier soin de la Compagnie concessionnaire fut d'établir le projet définitif des travaux à exécuter pour réaliser le programme tracé par M. Nadault de Buffon et spécifié par la loi de concession.

On constata que la dépense du canal de colmatage avec ses branches secondaires et les canaux de colature se monterait à 12 000 000 *f* au moins.

L'élévation de cette dépense conduisit à rechercher si les résultats à attendre du colmatage étaient bien en rapport avec la dépense de premier établissement.

Le colmatage, tel qu'il avait été prévu par M. Nadaud de Buffon, avait pour but, ainsi qu'on l'a dit, de superposer au sol de la Crau un sol soi-disant plus fertile obtenu par le dépôt des limons de la Durance.

Cette opération eût été indispensable si le sol à mettre en valeur avait été une couche rocheuse, ou eût été constitué par des éléments le rendant impropre à toute culture.

Or, ce n'était pas le cas du sol de la Crau, la couche de terre arable y existe sur une épaisseur un peu faible, il est vrai, mais cependant très suffisante au développement des plantes. L'aridité de cette terre provient surtout de sa sécheresse et de sa pauvreté relative en principes essentiels à la vie végétale. L'apport des limons de la Durance aurait-il modifié cette situation? Non, car ils sont encore plus pauvres que le sol de la Crau en principes fertilisants tels que l'azote, l'acide phosphorique et la potasse. Ils sont de plus éminemment argileux et le sol artificiel créé par le colmatage eût été, en raison du climat et de la perméabilité du sous-sol, encore plus aride que celui de la Crau. On ne pouvait en effet songer à créer, par voie de colmatage, un sol profond : l'opération eût été plus que séculaire.

Pour être réalisable, il eût été nécessaire que l'opération du colmatage comportât du moins l'amenée d'eaux d'irrigation indispensables à la mise en culture des terres colmatées. Mais les conditions dans lesquelles était faite la concession ne le permettaient pas.

La mise en valeur de la Crau par voie de colmatage, telle que l'avait conçue M. Nadault de Buffon, était donc irréalisable.

Toutefois les essais de mise en culture, poursuivis sur une grande échelle par la Compagnie ont, par contre, démontré que sans colmatage la fertilisation de la Crau est non seulement facilement, mais pratiquement réalisable, si l'on peut disposer d'eaux d'irrigation.

Il faut limiter les cultures à entreprendre à la création de vignes et de prairies.

Les vignes américaines greffées en plants français se maintiennent très bien dans le sol naturel de la Crau et donnent des produits, sinon très abondants, du moins de qualié supérieure. Quant aux prairies qui sont le corollaire presque indispensable de la vigne afin de fournir le fourrage nécessaire aux animaux de la ferme, l'expérience a prouvé que, sans colmatage, par de simples irrigations et avec des engrais convena-

blement choisis, on pouvait créer dans le sol naturel de la Crau des prairies qui étaient en plein rapport dès la troisième année de leur création.

On trouvera dans le Mémoire des détails sur les procédés de mise en culture, ainsi que sur les dépenses de création et les produits des diverses cultures de la Crau.

L'Administration supérieure et le Parlement ont d'ailleurs reconnu la réalité et l'exactitude de cette manière de comprendre la mise en culture de la Crau, et une convention récente est venue modifier la concession primitive en ce qui concerne le colmatage qui est abandonné et auquel a été substituée une concession éventuelle d'eaux d'arrosage. Une convention prévue à passer avec l'État réglera cette nouvelle concession.

Desséchement et mise en culture des marais de Fos. — Les marais de Fos s'étendent sur une superficie d'environ 4 500 *ha* entre la partie inférieure de la Crau et le canal de navigation d'Arles à Bouc, entre les villages de Fos et du Mas-Thibert.

Au centre de ces marais se trouvent deux grandes dépressions qui forment deux étangs communiquant avec le canal d'Arles à Bouc qui leur sert d'émissaire vers la mer.

Dans ces étangs viennent se déverser toutes les eaux des écoulages supérieurs. Ces eaux y sont amenées par deux canaux dits de la Vidange et du Vigueirat construits en 1476 par un Ingénieur hollandais du nom de Van Ens, qui, à cette époque, avait entrepris le desséchement des immenses marécages qui s'étendaient sur la rive gauche du Rhône aux environs d'Arles et de Tarascon.

Pour réserver cette situation, le cahier des charges de la concession du desséchement a prévu que ces étangs ne seraient pas desséchés et continueraient à servir de réservoirs pour les eaux d'écoulages supérieurs.

Aux termes de la concession de 1881 basée sur le programme de M. Nadault de Buffon, le desséchement des marais devait être fait par abaissement du plan d'eau et par exhaussement du sol au moyen de colmatages provenant du dépôt des limons de la Durance amenés par le canal de colmatage.

Les études que fit la Compagnie concessionnaire pour se rendre compte des résultats pratiques à attendre du colmatage des marais au moyen des limons de la Durance, l'amenèrent à conclure que, comme pour la Crau, le colmatage n'était nullement nécessaire pour assurer la mise en culture des marais de Fos et qu'en tout cas la dépense était disproportionnée au but à atteindre.

D'accord avec l'État, le desséchement de ces marais a donc été poursuivi par simple abaissement du plan d'eau, ainsi que cela se pratique depuis des siècles dans les polders de Hollande.

L'altitude moyenne des terrains de ces marais est de 0,30 *m* au-dessous du niveau de la mer moyenne de Marseille, et comme les eaux des écoulages supérieurs (qui, ainsi qu'on l'a vu, viennent toutes se réunir dans ces marais) atteignent parfois un niveau de 0,80 *m* plus élevé que celui de la mer moyenne, on voit que ces marais sont inondés une partie de l'année.

Pour tenir compte de la disposition des lieux, les marais de Fos ont été divisés en quatre principaux bassins de desséchement protégés par des digues contre les eaux extérieures.

Dans chaque bassin est établi un groupe de machines d'épuisement. ainsi qu'un réseau spécial de canaux de desséchement amenant les eaux aux puisards de ces machines.

Les quantités d'eaux à épuiser pour assurer le desséchement des marais dans des conditions permettant leur mise en culture varient de 2 à 4 *l* par *ha* et par seconde, à élever à des hauteurs variant de 0,30 à 1,50 *m*.

On trouvera dans la note communiquée des détails très complets sur les essais qui furent faits en dehors de toute préoccupation industrielle sur les pompes centrifuges installées pour l'épuisement du bassin de Fos.

Ces pompes sont au nombre de deux et ont un débit de 1 000 à 1 200 *l* par seconde chacune.

Bien que ces essais aient démontré que ces pompes avaient un très bon rendement pour les hauteurs d'élévation supérieures à 1 *m* d'élévation, comme l'expérience a aussi démontré que la plupart du temps l'élévation des eaux ne devait pas être supérieure à 0,50 *m* et que dans ces conditions un bon rendement des pompes centrifuges est très difficile à réaliser, la Compagnie a étudié pour l'épuisement de son troisième bassin de desséchement un système de roues élévatoires disposées avec un seuil variable, pour tenir compte des variations des niveaux d'amont et d'aval.

Les dessins de ces diverses installations seront joints au mémoire.

Au point de vue de leur mise en culture, les marais de Fos se divisent en deux zones principales très différentes comme constitution du sol.

Le sol de la partie haute de ces marais, dite Coustière, est constitué par un sol argilo-calcaire, tandis que celui des parties basses est de constitution tourbeuse supportant très difficilement le poids des animaux et même des hommes, quand on a détruit le feutre superficiel formé par la végétation lacustre qui le recouvre.

Les parties hautes peuvent se défricher à la charrue en employant des dispositions spéciales permettant d'enterrer complètement le feutre supérieur formé par la végétation lacustre, si on ne veut pas avoir recours à un écobuage préalable.

On peut y créer avec succès des vignes françaises submersibles et des prairies arrosées avec les eaux mêmes provenant du desséchement, remontées au moyen de pompes.

Dans les parties tourbeuses, après un certain nombre d'essais infructueux, on a dû faire appel à l'expérience de praticiens hollandais, qui sont venus avec leurs ouvriers terrassiers, leurs laboureurs, leurs chevaux, charrues et matériel, entreprendre les premiers travaux de mise en culture des marais de Fos, suivant les méthodes usitées dans leur pays et dont on trouvera le détail dans la note communiquée.

Dans ces parties tourbeuses, après une série de cultures transitoires destinées à préparer convenablement le sol, on y créera, comme dans

les Polders de Hollande, des prairies naturelles dans lesquelles on entretiendra l'humidité nécessaire à la végétation, en laissant, suivant les besoins, remonter le plan d'eau du desséchement dont on est maître par le jeu des machines d'épuisement.

La création de ces prairies naturelles aura un intérêt de premier ordre dans cette région où elles font complètement défaut. On pourra, en effet, y mettre en pâture les bestiaux maigres arrivant d'Algérie ou de Tunisie, de manière à remettre ces animaux en état d'être avantageusement livrés à la boucherie et à faire ainsi concurrence aux bestiaux italiens qui inondent les marchés de Provence au grand détriment de notre industrie nationale.

On trouvera dans le Mémoire des renseignements détaillés sur les dépenses de création et sur les produits des diverses cultures du marais.

Telle est, dans ses grandes lignes, l'entreprise de la mise en culture de la Crau et des marais de Fos, qui va se poursuivre avec le concours de l'État.

M. le Président remercie M. Dornès de sa très intéressante communication. Les renseignements si précis qui viennent d'être produits tirent leur valeur du soin avec lequel M. Dornès a étudié le sujet qu'il vient d'exposer; le plan en relief qu'il a mis sous les yeux de l'assemblée a permis à chacun de se faire une idée nette de cette importante question. *(Applaudissements.)*

L'ordre du jour appelle la communication de M. Pulin sur le *Principe Compound et son application aux locomotives.*

M. Pulin dit que la question du fonctionnement Compound est un des problèmes les plus complexes et les plus importants parmi ceux qui ont été proposés pour les locomotives. Le mémoire qu'il présente à la Société sur ce sujet n'est pas de nature, dit-il, à éclairer certains points obscurs encore, mais l'importance et l'actualité de la question sont telles qu'il n'a pas cru devoir se soustraire à l'obligation d'apporter à la Société, comme élément de discussion, les observations qu'il a pu faire sur les locomotives, ainsi que ses réflexions personnelles. Son mémoire est divisé en quatre parties, comprenant :

1° Un exposé des caractères habituels des locomotives à simple expansion ;

2° Un exposé des caractères essentiels du principe Compound et les données expérimentales de son application aux locomotives ;

3° Un parallèle entre les deux systèmes de locomotives au double point de vue des consommations et de la puissance ;

4° La description des locomotives Compound de la Compagnie du chemin de fer du Nord, ainsi que les principaux résultats des expériences auxquelles on les a soumises.

M. Pulin considère comme impropre à une bonne utilisation de la vapeur, l'augmentation de volume des cylindres faite en vue d'obtenir une détente plus prolongée que la détente très incomplète réalisée dans les locomotives ordinaires, surtout si, en même temps, on emploie une pression élevée. Le fonctionnement Compound peut concilier la bonne

utilisation de la vapeur et la puissance, à la condition de prévoir l'admission directe facultative de la vapeur de la chaudière sur le ou les grands pistons.

Il repose sur des principes essentiels auxquels il est indispensable de toujours se reporter sous peine d'aboutir à des mécomptes.

Ces principes ont été exposés d'une manière très nette, il y a plus de quinze ans, par notre collègue, M. A. Mallet, à qui revient l'honneur d'avoir le premier réalisé pratiquement le fonctionnement Compound sur les locomotives, et d'avoir propagé cette solution avec une conviction inébranlable et une infatigable persévérance.

M. Pulin fait observer que si le travail de la vapeur dans deux cylindres successifs ne peut être obtenu sans qu'une certaine chute de pression ait lieu de l'un à l'autre sans production de travail mécanique, cette chute n'est pas d'ordinaire susceptible de compromettre l'économie du système, qui paraît reposer principalement sur une atténuation importante des phénomènes de condensation et de vaporisation dans les cylindres.

Les données expérimentales sont un auxiliaire indispensable des recherches théoriques appliquées au fonctionnement Compound, et de remarquables expériences ont été faites sous la direction de notre collègue, M. Borodine, qui en a publié les résultats dans le Bulletin de septembre 1886. Les études sur la distribution de la vapeur reposent sur l'examen des diagrammes et il est intéressant, dans le cas des locomotives Compound, de pouvoir relever deux diagrammes simultanément.

M. Pulin décrit un indicateur double construit récemment pour cet objet à l'atelier des Essais de la Compagnie du Nord, et présente quelques spécimens de diagrammes relevés à l'aide de cet appareil qui est manœuvré par un seul opérateur.

M. Pulin parle ensuite des locomotives Compound de la Compagnie du Nord. Ces machines figurent à l'Exposition. Elles sont de trois types différents La locomotive de grande vitesse à quatre cylindres n° 701 est exposée par la Société Alsacienne qui l'a construite. Elle a été étudiée par M. A. de Glehn, Ingénieur de cette Société. Elle dérive du type à quatre roues couplées et à grand foyer ; sa chaudière est timbrée à 11 *kg*. Les cylindres intérieurs, réduits de diamètre, ont été conservés pour la haute pression ; ils attaquent l'essieu du milieu, et deux cylindres de basse pression extérieurs actionnent l'essieu d'arrière. L'accouplement est supprimé.

Cette machine a constamment réalisé une économie de charbon de 6 à 7 0/0 pendant ses trois ans de service. L'économie d'eau n'a pas été évaluée mais paraît très notable. L'usure des tiroirs de distribution est faible ; on en a remplacé 5 seulement, tandis que les locomotives ordinaires faisant le même service en ont usé 11 en moyenne pendant le même temps. L'un des tiroirs de basse pression de la locomotive 701 figure à l'Exposition après avoir effectué un parcours total de 146 300 *km*.

La locomotive système Wolf à quatre cylindres en tandem n° 4733, est une machine à 8 roues couplées et à 10 *kg* de pression, transformée. Cette modification, décrite dans la *Revue générale des Chemins de fer*, a

été étudiée par M. Du Bousquet, Ingénieur Inspecteur principal de la traction, qui a voulu augmenter le travail de la détente sans changer l'effort maximun de traction. Les deux cylindres de haute et basse pression sont fondus d'une seule pièce et portent un seul tiroir de distribution. Il n'y a rien de changé dans la conduite de la machine. Deux autres locomotives modifiées de même sont suivies en service comparativement avec les machines à fonctionnement simple. D'après des expériences toutes récentes, elles ont trainé 685 *t* sur rampes de 11 *mm* à la vitesse de 15 *km* à l'heure, en réalisant une économie très importante par rapport aux machines ordinaires qui dans ces conditions doivent être employées en double traction. La Compagnie du Nord vient de commander 20 locomotives de ce nouveau type à la Compagnie de Fives-Lille, en portant la pression à 12 *kg* au lieu de 10.

La troisième locomotive Compound est à 6 roues couplées et à trois cylindres ; elle a été étudiée par M. Sauvage, Ingénieur principal des Ateliers des machines. Elle est timbrée à 14 *kg* et porte sur le cylindre de haute pression placé au milieu, une distribution à deux tiroirs qui procède du système Meyer, mais qui permet de limiter la compression. Il n'y a pas de coulisse, et le changement d'admission est obtenu par le déplacement transversal du tiroir, lequel donne aussi l'admission facultative directe dans les grands cylindres qui sont extérieurs. Cette machine est puissante ; en même temps, par le diamètre de ses roues qui est de 1,650 *m*, elle est apte à marcher vite. Elle a fait le service des voyageurs, puis a été essayée aux marchandises, et elle a pu remorquer la charge maxima des locomotives à 8 roues couplées, à la même vitesse. D'autre part, elle a amené un train de charbon pesant 550 *t* de Lens à La Chapelle, soit un trajet de 210 *km*, en 6 heures et demie de marche, sans exagération de la vitesse sur les pentes. Les expériences ont été interrompues par l'envoi de la machine à l'Exposition.

M. Polin donne enfin quelques renseignements sur l'essai de l'appareil dit *Anisométrique* de M. de Landsée, appliqué à une ancienne locomotive Stephenson transformée en machine tramway. Cet appareil qui permet d'admettre la vapeur soit dans les deux cylindres, à la manière ordinaire, soit dans un seul d'où elle s'échappe pour se détendre dans le second, avait été proposé pour améliorer l'utilisation de la vapeur sans rien changer à la machine ; mais on a été obligé de rendre les distributions indépendantes afin de pouvoir admettre toujours à fond de course dans le second cylindre. On a obtenu alors une économie de charbon de 10 à 12 0/0 attribuée à une moindre condensation à l'admission.

M. Polin fait observer que s'il n'a pas indiqué la nomenclature des locomotives Compound qui aujourd'hui existent un peu partout, c'est qu'il a mieux aimé s'abstenir que de donner des renseignements incomplets ; il espère que M. Mallet fera connaître en temps utile cette nomenclature générale à la Société.

Il conclut en disant que les tentatives de toutes sortes faites pour augmenter le rendement des chaudières de locomotives témoignent de l'importance d'un système dont l'application procure une notable éco-

nomie de vapeur. Les locomotives Compound sont entrées dans la pratique, comme on peut le voir notamment par le bon service des machines de M. Worsdell sur le North Eastern Railway où on est parvenu, lors des courses de trains qui ont eu lieu l'année dernière entre Londres et Édimbourg, à des vitesses pratiques inconnues en France.

M. Pulin termine en exprimant l'avis que le moment est bien venu de demander au principe Compound pour les locomotives, tout ce qu'il peut renfermer de précieuses ressources. *(Applaudissements.)*

M. le Président remercie M. Pulin de sa communication qui renferme des renseignements très intéressants dont quelques-uns ont déjà été publiés dans une notice du même auteur insérée dans la *Revue générale des Chemins de fer*.

M. Polonceau dit que la question du fonctionnement Compound a été posée depuis déjà longtemps. La Société s'en est occupée à diverses reprises, notamment à propos des travaux de M. Borodine.

M. Polonceau ajoute que l'étude complète de cette importante question s'impose actuellement. Il propose à l'assemblée de présenter dans une prochaine séance un résumé des travaux et des recherches entrepris sur ce sujet, en France, en Russie, en Allemagne et en Angleterre. et de discuter les avantages et les inconvénients du système Compound.

En ce qui concerne les vitesses considérables signalées par M. Pulin comme ayant été atteintes en Angleterre, M. Polonceau exprime l'avis qu'en France, les vitesses atteignent, en marche normale, la limite maxima compatible avec la sécurité.

Au reste, les Anglais ont eux-mêmes reconnu les inconvénients et les dangers que présentent les vitesses forcées ; c'est ainsi que la lutte de vitesse entre deux Compagnies anglaises rivales, signalée par M. Pulin, n'a pas duré plus d'une quinzaine de jours; ces Compagnies sont revenues à leur marche courante.

On peut affirmer que les vitesses de marche normale ne sont pas plus grandes en Angleterre qu'en France.

M. Polonceau termine en indiquant que, dans des expériences faites à la Compagnie de Lyon, on a atteint une vitesse de 139 *km* à l'heure, et qu'à la Compagnie d'Orléans, un train d'essai a fait le trajet de Paris à Orléans, aller et retour, avec une vitesse moyenne de 90 *km* à l'heure, vitesse qui, sur le parcours d'Étampes à Paris, a atteint 109 *km*.

M. le Président dit que la Société ne peut qu'accepter avec empressement la proposition de M. Polonceau dont la compétence en la matière est bien connue. La question de l'application du fonctionnement Compound aux locomotives sera donc portée à l'ordre du jour d'une prochaine séance.

La séance est levée à dix heures trois quarts.

NOTE

SUR

LE COLMATAGE DE LA PLAINE DE « LA CRAU »

ET

LE DESSÉCHEMENT DES MARAIS DE FOS

EN VUE DE LEUR MISE EN CULTURE

PAR

A. DORNÈS

COLMATAGE ET MISE EN CULTURE DE " LA CRAU "

La plaine de « la Crau ».

Il n'est pas de voyageur allant à Marseille, qui n'ait été frappé par la vue de cette immense plaine déserte et couverte de pierres, que le chemin de fer traverse sur plus de 15 *km* entre Arles et Miramas (Bouches-du-Rhône) et qui porte le nom de « Crau » (probablement du celte Kroâ ou Groâ, lieu uni, plat).

Cette plaine se présente à peu près sous la forme d'un grand triangle isocèle, dont la base, orientée du N.-O. au S.-E., a environ 20 *km* de longueur et dont la hauteur est d'environ 30 *km*. Le sommet de ce triangle se trouve au col de Lamanon dans la chaîne des Alpines, et les villages de Fos et du Mas-Thibert se trouvent placés à chaque extrémité de sa base, le premier à l'est, le second à l'ouest.

C'est le long de cette base que s'étend, sur une largeur d'environ 2 *km* en moyenne, la vaste surface de marais connus sous le nom de « marais de Fos ». Ceux-ci sont eux-mêmes limités au S-O. par le canal de navigation d'Arles à Bouc qui borne en même temps, dans le N.-E., la plaine formant l'estuaire du Rhône et dont la Camargue occupe le centre (1).

(1) Voir pl. 208, fig. 1.

Origine de la Crau.

Les hypothèses les plus diverses ont été émises, dès l'antiquité, pour expliquer la formation de cette plaine couverte de cailloux.

Eschyle en fait mention comme du lieu où Hercule livra bataille aux Liguriens et où ils furent anéantis grâce à la pluie de pierres que Jupiter fit tomber sur eux.

Denys d'Halicarnasse, Pline et d'autres auteurs anciens, rapportent également cette fable.

Aristote parle des pierres de la Crau comme devant être les suites d'un tremblement de terre.

Strabon, tout en considérant comme invraisemblables les hypothèses de ses prédécesseurs au sujet de l'origine de la Crau, n'en donne pas non plus d'explications plausibles.

Mais dès le seizième siècle le géographe Solery et, au dix-septième siècle Gassendi, attribuent déjà à la Durance la formation de cette plaine couverte de cailloux.

Cependant au dix-huitième siècle, de Buffon et de Saussure émirent des hypothèses différentes et pensèrent : le premier, que la Crau était le résultat de phénomènes dus à la Méditerranée, le second, qu'elle avait été formée par le Rhône.

Toutefois, à la même époque, Robert de Lamanon, par l'examen des cailloux qui recouvrent cette plaine, et qu'il reconnait semblables à ceux de la vallée de la Durance, n'émet plus de doutes sur la formation de la Crau et l'attribue décidément à la Durance.

L'étude de la configuration et de la constitution physique et chimique du sol et du sous-sol de cette plaine vient complètement confirmer cette hypothèse.

Cette plaine est en effet loin d'être horizontale, comme on le croirait à première vue. C'est au contraire une surface de forme conique très bien accentuée ayant son sommet au col de Lamanon, à la cote 110*m* au-dessus du niveau de la mer. Les génératrices de cette surface ont une pente à peu près constante d'environ 3*m* par kilomètre, et suivent des directrices plus ou moins ondulées, ce qui constitue une série de vallonnements venant tous aboutir aux marais de Fos, à une altitude voisine du zéro de la mer moyenne de Marseille.

On se trouve donc là certainement en présence du cône de déjection d'une rivière torrentielle qui venait se jeter directement à la mer en franchissant la chaîne des Alpines par la percée de Lamanon. Cette rivière ne pouvait être que la Durance dont le lit actuel n'est d'ailleurs que de quelques mètres inférieur au niveau du col de Lamanon.

Si l'on passe à l'examen de la constitution du sol et du sous-sol de la Crau, on reconnaît que le sol est uniformément constitué par une couche de 30 à 60 *cm* d'épaisseur formée par des cailloux roulés de toutes grosseurs, mélangés d'une terre argilo-siliceuse. Ce sol proprement dit, repose sur une couche de rocher ou poudingue très dur, d'épaisseur variable et formé des mêmes cailloux roulés agglutinés par une gangue calcaire. En dessous de cette couche de poudingue on retrouve encore, sur une très grande épaisseur, ces mêmes cailloux roulés, mélangés de sable plus ou moins calcaire.

Or tous ces cailloux et graviers sont identiques à ceux roulés encore actuellement par la Durance non seulement comme aspect, mais aussi comme composition chimique. On y retrouve en particulier la *variolite* qui est la caractéristique des roches de cette vallée.

Restait toutefois à expliquer la présence de cette couche de rocher ou poudingue existant d'une manière uniforme au milieu de cette masse de cailloux roulés, et qui avait toujours dérouté les observateurs.

La formation de ce poudingue sous-jacent est évidemment due à des phénomènes postérieurs à l'époque où la Durance se déversait encore à la mer en franchissant le col de Lamanon.

L'analyse chimique démontre en effet que la couche de terre qui recouvre le poudingue et qui constitue le sol de la Crau, est très pauvre en éléments calcaires (1 0/0 environ), alors qu'au contraire la gangue qui agglutine les cailloux formant le poudingue est presque exclusivement calcaire.

On peut donc en conclure que ce sont les eaux pluviales qui, en l'absence de toute végétation, ont dissous progressivement, à la faveur de l'acide carbonique, le calcaire qui était contenu dans les alluvions crétacées mélangées aux cailloux, de sorte que finalement toute la chaux s'est trouvée entraînée dans le sous-sol où elle s'est déposée par suite du départ de l'acide carbonique, aucun végétal n'étant là pour la ramener à la surface. Elle a ainsi constitué la gangue calcaire formant le poudingue.

Aucun doute n'est donc plus permis aujourd'hui quant à l'origine de la Crau, qui est bien l'ancien cône de déjection de la Durance

Tentatives faites pour mettre « la Crau » en valeur.

Depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, la Crau a toujours été livrée à l'industrie pastorale de l'élevage de moutons qui se contentent des maigres herbages qui poussent au milieu des cailloux dont toute la surface de cette immense plaine est recouverte.

Mais aussi de tous temps, des tentatives, plus ou moins couronnées de succès, ont été faites pour fertiliser et gagner à la culture ces immenses territoires en friche. L'expérience a prouvé, en effet, qu'il suffit de pouvoir faire sur ce sol des irrigations régulières pour y développer et y entretenir facilement la végétation.

Dès le seizième siècle (1554-1559), Adam de Craponne, pénétré de cette vérité, exécuta le canal qui porte son nom et amena les eaux de la Durance à Salon, Eyguières, Istres et jusqu'à Arles, en franchissant le col de Lamanon et en suivant le pied des collines qui bordent la Crau à l'E. et au N.-O.

Ce canal, très remarquable pour l'époque, fut très probablement exécuté en partie suivant le tracé d'un ancien canal entrepris par les Romains pour amener les eaux de la Durance à Salon.

La construction du canal de Craponne amena la prospérité de toute cette région stérile jusque-là. Aussi, deux siècles plus tard, lorsque toutes les eaux disponibles du canal de Craponne (dont la portée n'excède guère 12 m^3 par seconde), furent plus ou moins bien utilisées, cette œuvre de fertilisation progressive de la Crau se continua par la création d'un nouveau canal également dérivé de la Durance, le canal dit des *Alpines*, construit en 1787 par les États de Provence avec le concours des communes et d'un certain nombre de propriétaires de la région réunis en syndicat. Ce canal, dont la branche mère dite de *Boisgelin* (du nom de l'évêque d'Aix qui était à la tête de la province lors de sa construction) a une portée de 10 m^3 environ, passe également au col de Lamanon et amène dans la Crau et sur sa lisière les eaux de la Durance prises à Mallemort, c'est-à-dire au point où le cours de cette rivière est le plus rapproché de la Crau.

Les conséquences de la création de ces deux canaux sont considérables.

Au seizième siècle, la Crau n'était en effet qu'un immense pâturage d'environ 40 000 *ha*. Deux siècles après, suivant état dressé en 1778, et grâce à la création du canal de Craponne, on n'y trouvait plus que 30 000 *ha* environ de pâturages naturels. Aujourd'hui que les effets du canal des Alpines sont venus s'ajouter à ceux du canal de Craponne, la superficie des terres en friche de la Crau n'est plus que d'environ 20 000 *ha*. Les eaux d'irrigation apportées dans la Crau ont donc permis de gagner à la culture près de 20 000 *ha*.

Les résultats ainsi obtenus depuis trois siècles par l'emploi des eaux plus ou moins limoneuses de la Durance, ayant démontré de toute évidence la possibilité de transformer ces déserts arides de la Crau en terres cultivables et particulièrement en prairies arrosées, la question de la fertilisation générale de la Crau resta constamment à l'étude, et en 1853, M. de Gabriac, ingénieur des Ponts et Chaussées, à Arles, présenta un projet très rationnel de la fertilisation de la Crau par la création de nouveaux canaux destinés à amener les eaux de la Durance dans toutes les parties de cette plaine dont il chercha, mais en vain, à syndiquer tous les propriétaires pour la mise à exécution de son projet.

Projet Nadault de Buffon pour la fertilisation de la Crau par voie de colmatage.

Une dizaine d'années plus tard, M. Nadault de Buffon reprit ce projet de fertilisation générale de la Crau, mais transforma la solution de la question en se plaçant au point de vue exclusif du *colmatage*. Il proposa l'exécution d'un canal devant avoir le débit énorme de 80 m^3 par seconde, *ne prenant en Durance que les eaux de crues*, c'est-à-dire celles les plus chargées de limons.

Les limons charriés par les eaux de ce canal devaient servir à *colmater*, c'est-à-dire à recouvrir d'une couche de limon plus ou moins épaisse (de 0,20 *m* à 0,30 *m* en moyenne) non seulement toute la surface de la Crau, mais encore toute celle des marais de Fos, dont le sol devait se trouver ainsi exhaussé. Comme complément de cette dernière opération, le plan d'eau de ces marais devait être abaissé au moyen de puissantes machines d'épuisement.

Ce projet, approuvé par l'administration supérieure après enquêtes et instruction administratives, a donné lieu à une concession pour la mise en œuvre de laquelle a été constituée, en 1882, une Compagnie dite : *Compagnie Agricole du Dessèchement des Marais de Fos et du Colmatage de la Crau*, au capital de 6 000 000 *f*.

Laissant de côté l'étude des conditions financières devant permettre l'exécution de ces travaux par le jeu d'une garantie d'intérêt de l'État, nous ne traiterons que les questions techniques ayant trait à cette entreprise.

Essai de mise en œuvre du projet Nadault de Buffon.— Nivellement général de « la Crau ».

La première préoccupation des concessionnaires, qui étaient tenus de présenter dans un délai déterminé un projet d'ensemble des travaux, fut d'établir avec une scrupuleuse exactitude un plan coté de cette immense surface de près de 30 000 *ha* formée par la Crau et les Marais de Fos.

En effet les quelques rares renseignements d'altitude fournis par les avant-projets de M. Nadault de Buffon présentaient avec les autres nivellements faits dans la même région de telles différences qu'il était impossible de baser un projet définitif sur des données aussi incertaines.

On se décida alors à procéder à un immense travail géodésique. consistant à couvrir la Crau tout entière ainsi que les Marais, d'un quadrillage formé de grands alignements tracés sur le terrain à 1 *km* de distance les uns des autres et se recoupant perpendiculairement de manière à donner par leur intersection autant de points de repère fixes, qui devaient servir de base, d'abord à un nivellement de précision et ensuite au lever du plan parcellaire exact de toute cette région.

De grandes bornes en pierre, reposant sur un massif de maçonnerie, furent placées à chacune de ces intersections d'alignements et constituèrent les repères destinés à servir à toutes les opérations ultérieures. On procéda ensuite à un nivellement de précision de tous ces alignements en suivant les contours de chaque carré de ce quadrillage et en s'imposant la règle absolue de toujours se refermer sur chaque borne avec des erreurs moindres de 1 *mm* par *km*. De plus, afin de mieux coordonner ces résultats, on refit

le nivellement des contours des carrés de 4 *km* de côté formés par le groupement de 4 carrés contigus les uns aux autres, et on termina l'opération par le nivellement de contours plus étendus, en recommençant toujours les opérations qui ne permettaient pas de se refermer dans les limites du coefficient d'erreur admis. En prenant alors comme cote définitive de chaque borne la moyenne de toutes les cotes de nivellements obtenues sur cette borne, on était assuré d'avoir le maximum possible d'exactitude, tout en ayant des résultats parfaitement coordonnés entre eux.

C'est ainsi qu'on est arrivé à couvrir cette immense surface de 30 000 *ha*, de repères de nivellement absolument certains.

Au moyen de ces repères on a pu procéder facilement à la coordination et à la vérification de tous les nivellements de détails qui ont dû être faits pour l'étude des projets, et ces repères seront dans l'avenir d'une grande utilité pour l'exécution de tous les canaux et rigoles d'irrigation.

Pour compléter ce travail géodésique, on leva le plan général exact de toute la plaine de la Crau et des marais de Fos, avec indication des limites des propriétés.

Ce plan fut levé en prenant les alignements formés par les bornes de repère comme bases d'opérations (les alignements allant du S.-O. au N.-E. étant considérés comme ordonnées et ceux allant du N.-O. au S.-E. étant pris comme abscisses).

C'est en reportant ensuite sur ce plan détaillé les nivellements des abscisses et des ordonnées qu'on put tracer, par voie d'interpolation, les courbes de niveau de mètre en mètre, et déterminer ainsi le relief exact de cette immense surface.

Ces diverses opérations géodésiques, tracés, chaînages et piquetages des ordonnées et abscisses, implantation des bornes de repères, nivellements successifs pour déterminer les cotes exactes de ces repères, nivellements de détail entre ces mêmes repères, levé du plan général et du plan parcellaire, durèrent plus d'un an. Elles furent exécutées par quatre brigades d'opérateurs, un opérateur spécial ayant été seul chargé des nivellements de précision destinés comme on l'a dit plus haut à coordonner et à rectifier au besoin tous les résultats des nivellements partiels.

L'ensemble de ces travaux fut exécuté au prix forfaitaire de 6 *f* par *ha* y compris le levé du plan parcellaire et son rapport sur le papier en double expédition à l'échelle de $\frac{1}{2000}$

En dehors des difficultés résultant de l'éloignement de tout

centre habité (ce qui forçait les opérateurs à camper presque constamment sous la tente), les opérations furent rendues particulièrement longues et délicates par les phénomènes de réfraction des diverses couches de l'atmosphère dans ces plaines désertes et ensoleillées de la Crau. On ne pouvait en effet travailler le plus souvent que quelques heures par jour et faire que des opérations à très courtes distances, si on ne voulait pas être exposé à commettre les plus grossières erreurs dans les nivellements ou les levés de plans.

De plus, dans les marais, les tracés, chainages, piquetages et nivellements à exécuter au milieu des roseaux et des joncs, sur un sol toujours mouvant et recouvert dans la majeure partie de 40 à 50 *cm* d'eau, furent des plus pénibles, sans parler des dangers résultant de l'insalubrité de la région où les fièvres paludéennes règnent à l'état endémique.

Ce grand travail géodésique terminé, on possédait tous les éléments nécessaires pour commencer l'étude exacte du projet d'ensemble aussi bien du colmatage de la Crau que du desséchement des marais de Fos.

D'après les courbes de niveau on traça les directions générales des canaux de colmatage, de colature et de desséchement.

Les tracés et profils définitifs furent ensuite arrêtés sur des plans cotés de détail, levés sur 100 *m* de chaque côté des directions générales prises comme axes.

On arriva ainsi à dresser le projet général du colmatage de la Crau et du desséchement des marais de Fos, qui fut approuvé par l'État comme devant être la base de toutes les opérations ayant trait à la concession.

Ce projet comportait l'exécution de :

60 *km* de canaux généraux de colmatage à grande section, d'une portée variant de 80 à 30 m^3 d'eau par seconde ;

90 *km* de canaux de colmatage secondaires ;

90 *km* de canaux de colature (y compris le canal général de ceinture des marais, qui devait servir de collecteur à tous les canaux de colature et conduire leurs eaux à la mer en passant en siphon sous le canal d'Arles à Bouc) ;

180 *km* de canaux principaux de desséchement des Marais ;

45 *km* de digues de protection des bassins de desséchement.

L'estimation de la dépense de ces travaux était évaluée à 18 millions de francs :

12 millions pour l'exécution des canaux de colmatage et de colature ;

6 millions pour les travaux de desséchement des marais, y compris les machines d'épuisement.

Résultats pratiques à attendre du colmatage.

Toutefois l'étude de ces projets et un examen plus approfondi de l'œuvre à poursuivre avaient fait naître des doutes sur la réalisation pratique de la mise en culture de la Crau et des marais de Fos dans les conditions de l'avant-projet conçu par M. Nadault de Buffon et qui, ainsi qu'on l'a vu, reposait sur le principe exclusif du colmatage, c'est-à-dire du dépôt, à la surface du sol, d'une couche de limons plus ou moins épaisse destinée à constituer un sol cultivable pouvant être alors facilement mis en valeur.

Ce colmatage, en admettant même son efficacité, n'était en effet qu'un des facteurs de la question; l'autre facteur, et le plus important, résidait dans la possibilité de pourvoir ces terrains colmatés, d'une manière régulière et en quantité suffisante, des eaux d'irrigation indispensables à leur mise en culture, car sous le soleil de la Provence, en dehors de la vigne, les *cultures irriguées* peuvent seules donner des résultats tant soit peu rémunérateurs.

Or, au point de vue de l'*irrigation;* le projet « Nadault de Buffon » laissait fortement à désirer. La concession accordait bien, il est vrai, la possibilité de dériver de la Durance 80 m^3 d'eau par seconde, mais à *la condition d'en laisser toujours au moins 50 dans le fleuve;* par suite de cette réserve, le débit du canal de dérivation devenait essentiellement irrégulier, et comme volumes et comme époques. Cette réserve équivalait de plus à la suppression, à peu près absolue, de toute disponibilité d'eaux pour arrosages pendant la période estivale, c'est-à-dire à l'époque où ces eaux sont le plus indispensables.

On songea bien, lors de l'étude du projet définitif, à remédier à cette irrégularité des eaux disponibles aux termes de la concession, en utilisant comme réservoirs les deux dépressions naturelles existant dans la plaine de la Crau et qui forment les deux étangs dits d'Entressen et de Dezeaume. Ces deux réservoirs, dont on aurait

remonté le plan d'eau au moyen de barrages, de manière à leur donner ensemble une capacité d'environ **15 000 000** *m*³, auraient été remplis au moment des crues de la Durance et les eaux ainsi emmagasinées eussent ensuite été utilisées, comme eaux d'irrigation, pendant la période de chômage forcé des canaux de colmatage.

Mais la création de ces réservoirs ne pouvait assurer l'irrigation régulière que d'une surface relativement assez restreinte de la basse Crau, car il ne faut pas perdre de vue que les cultures irriguées de cette région du Midi, pour être convenablement arrosées, exigent par hectare un volume minimum de **25** à **30 000** *m*³ d'eau pendant la période des arrosages, c'est-à-dire du mois d'avril au mois de septembre.

Les dépenses considérables (1 500 000 *f*) qu'eût entraînées la construction de ces réservoirs seraient venues, sans grande compensation, s'ajouter à celles à prévoir pour la création des canaux de colmatage et de colature. On se trouvait donc en présence d'une éventualité de dépenses d'au moins **13 500 000** *f* à faire en vue du colmatage seul, sans parler des dépenses de mise en culture et sans pouvoir cependant ***assurer*** des eaux d'irrigation à plus de *1 500 ha* au maximum.

Cette énorme dépense était-elle proportionnée au but à atteindre, et quelle pouvait être l'utilité pratique de la seule opération du colmatage, ***sans irrigations***, sur le reste de la surface de la Crau et des marais ?

C'est ce que la Compagnie concessionnaire fut amenée à se demander avant d'entrer dans la période d'exécution définitive et complète du projet « Nadault de Buffon».

Elle fit alors appel à tous les concours les plus compétents en matière agricole, et en particulier aux conseils de M. Grandeau, l'éminent chimiste agricole, pour savoir si, au point de vue technique, la nécessité d'un colmatage s'imposait pour la mise en valeur de la Crau et des marais de Fos.

Composition chimique du sol de la Crau et des limons de la Durance amenant à conclure à l'inutilité du colmatage pour la fertilisation de la Crau.

Les analyses comparatives du sol de la Crau à l'état vierge et de la Crau colmatée de longue date par le seul effet des arrosages avec les eaux plus ou moins limoneuses provenant, soit du canal de Craponne, soit de celui des Alpines, ont permis de se rendre un compte exact des effets réels qu'on pouvait attendre du colmatage proprement dit dans la Crau. Ces analyses ont démontré d'une manière péremptoire, d'abord que le sol de la Crau vierge était loin d'être absolument impropre *par lui-même* à toute culture comme on l'avait toujours prétendu jusque-là, et, en second lieu, que les qualités fertilisantes qu'on avait attribuées aux limons de la Durance, tenaient moins à la nature même de ces limons qu'à l'action particulièrement bienfaisante de l'eau qui les charrie.

En effet, si on examine la composition du sol naturel de la Crau (1), on reconnaît qu'il est constitué presque exclusivement de sable siliceux (66 à 70 0/0) et d'argile (26 à 27 0/0); qu'il est relativement pauvre en azote et en chaux, mais que ce qui lui fait surtout défaut, ce sont les éléments minéraux indispensables à toute culture intensive, c'est-à-dire l'*acide phosphorique* et la *potasse*.

Or, les limons de la Durance, eux aussi, ne contiennent ni potasse, ni acide phosphorique et sont pauvres en azote, du moins maintenant que tous les versants de la vallée de la Durance ont été déboisés et dénudés par le ravinement des eaux. Ils sont surtout argilo-calcaires.

La seule action *fertilisante* de ces limons sur le sol naturel de la Crau consiste donc à l'enrichir en calcaire ; par contre, leur addition à ce sol a pour effet d'augmenter de plus de 30 0/0 sa teneur en argile au détriment de sa teneur en silice. Aussi, les terrains de la Crau colmatés ont-ils besoin de masses considérables d'eaux d'arrosage pour empêcher leur durcissement sous l'action du soleil.

Si le sol naturel de la Crau était dépourvu d'argile ou seulement pauvre en cette substance, rien n'aurait pu remplacer le colmatage avec des limons argileux pour lui donner le *corps* dont il aurait eu

(1) Annexe n° 1, page 792.

besoin; mais ce n'est pas le cas, comme on vient de le voir, puisque ce sol naturel en contient de 26 à 27 0/0. L'enrichissement en calcaire eût donc été à peu près le *seul* bénéfice qui serait résulté pour la Crau du colmatage proprement dit.

Or, l'apport rapide dans le sol de la Crau de la quantité de chaux nécessaire à la végétation (c'est-à-dire 2 à 3 0/0) rentre dans les opérations culturales faciles à réaliser. Même sans chaulage, cet apport de chaux peut se faire sans frais, par l'importation des phosphates de chaux qui sont en tous cas nécessaires pour augmenter la teneur en acide phosphorique des terres de Crau.

L'expérience est venue, d'ailleurs, consacrer ces prévisions théoriques, car un grand propriétaire, M. Jullien, a pu créer en pleine Crau une centaine d'hectares de magnifiques prairies irriguées, au moyen d'eaux puisées par des pompes à vapeur dans le sous-sol en quantité suffisante pour pourvoir à l'arrosage de ces prairies. Ces prairies prospèrent ainsi dans d'excellentes conditions avec des eaux d'arrosage ne contenant ***aucune trace de limons***. Cet arrosage a été, bien entendu, complété par l'emploi d'engrais chimiques (superphosphates, sels de potasse et azote).

Il est donc bien démontré que le colmatage est loin d'être indispensable pour la création de cultures irriguées dans la Crau et en particulier de prairies.

Restait à résoudre la question de savoir si le colmatage permettrait au moins la création dans la Crau de cultures non irriguées.

Or l'expérience des siècles a démontré que dans la Crau, en fait de cultures non irriguées, la vigne pouvait seule donner des produits rémunérateurs.

Il s'agissait donc de savoir si le colmatage était indispensable pour permettre la reconstitution de vignobles mis à l'abri du phylloxera. M. Nadault de Buffon le pensait, car il n'avait en vue que la submersion comme moyen préservatif contre le phylloxera. Il comptait que le colmatage, en diminuant notablement la perméabilité du sol de la Crau, tout en en augmentant l'épaisseur, rendrait efficace ce mode de protection des vignobles, qui, d'ailleurs, eût été facilement réalisable en automne au moyen des eaux de crues qui ne font jamais défaut à cette époque de l'année.

Mais, outre qu'il est loin d'être démontré qu'un colmatage, même de 30 *cm* d'épaisseur, eût rendu imperméable le sous-sol de la Crau, les expériences de ces dernières années, faites par la Compagnie et par d'autres propriétaires, ont démontré, au contraire, que les vignes américaines greffées en plants français pros-

péraient parfaitement dans le sol naturel de la Crau et résistaient très bien au phylloxera, sans qu'il fut besoin d'avoir recours à la submersion (1).

Le colmatage n'aurait apporté à cette culture aucun élément de fertilisation spécial.

Il aurait pu, il est vrai, augmenter quelque peu l'épaisseur du sol arable, mais cet avantage eût été bien minime par rapport à la dépense correspondante, d'autant plus que la modification de composition physico-chimique de la terre naturelle de la Crau, qui eût été la conséquence du colmatage, eût certainement nui à la prospérité de la vigne et surtout à la qualité du vin. Quant à créer par voie de colmatage un sol profond, on n'y pouvait songer; l'opération eût été plus que séculaire.

D'ailleurs, avant l'invasion du phylloxera, il existait déjà plusieurs milliers d'hectares de vignes plantées dans *le sol naturel de la Crau*, ces vignobles donnaient un vin de qualité exceptionnelle très connu et très apprécié, mais en assez faible quantité.

Il n'était donc pas besoin de colmatage pour créer des vignes en Crau.

Conclusions.

Pour toutes ces raisons on en est arrivé à cette conclusion, que ce n'était pas dans la voie du colmatage qu'il fallait poursuivre la réalisation de la mise en valeur de la Crau et que le meilleur moyen pour arriver à ce résultat était d'avoir simplement recours à l'arrosage, autant que cela serait possible, en complétant les cultures irriguées (qui ne peuvent évidemment qu'occuper une surface restreinte de cette immense plaine), par la création de vignobles mis à l'abri du phylloxera par l'emploi de cépages américains, greffés ensuite en cépages français, l'apport méthodique d'engrais chimiques convenablement appropriés permettant d'assurer le succès de ces deux cultures principales.

(1) Les cépages américains qui paraissent le mieux réussir dans la Crau sont : les Jacquez, les Riparia, les Solonis et les Rupestris, et, en les greffant avec des plants français d'Alicante-Henri Bouschet, de Cinsaut, de Carignane et d'Espar, on obtient des vins de première qualité analogues aux vins de Saint-Georges. La constitution physique du sol et du sous-sol de la Crau peut, en effet, faire considérer cette plaine comme présentant les mêmes avantages qu'un coteau, conditions tout spécialement favorables à la culture de la vigne.



L'Administration supérieure et le Parlement ont d'ailleurs reconnu la réalité et l'exactitude de cette conception nouvelle de la mise en valeur de la Crau, et une loi récente (26 avril 1889) est venue modifier la concession primitive en ce qui concerne la question colmatage auquel a été substituée une concession éventuelle d'eaux d'arrosage.

Si, en effet, comme cela paraît certain, on arrive, soit par des concessions nouvelles, soit par des combinaisons avec les canaux existants, à doter la Crau d'eaux d'irrigation prises en Durance ou prélevées sur les concessions non utilisées jusqu'ici, on pourra facilement, par la création de prairies et de vignes, gagner à la culture des milliers d'hectares de terres en friche de cette plaine.

C'est donc en suivant cette voie et en abandonnant toute idée de colmatage, qu'on doit chercher la vraie solution de la fertilisation de la Crau.

Premiers travaux de mise en culture de la Crau sans colmatage.

La Compagnie a d'ailleurs déjà commencé la mise à exécution de ce nouveau programme dans la mesure possible à réaliser actuellement.

Elle se trouve en effet propriétaire de plus de 7 000 *ha* de terrains de la Crau (acquis en conformité des termes de sa concession primitive), et, après avoir, pendant les premières années, poursuivi des essais de mise en culture pour s'assurer des meilleures méthodes à suivre, elle a commencé, dès 1885, la transformation de celles de ses propriétés susceptibles d'être immédiatement mises en valeur, c'est-à-dire de celles possédant déjà d'anciennes concessions d'eaux d'irrigations inutilisées ou mal utilisées.

Cette mise en valeur consiste à créer des centres d'exploitation comportant chacun de 30 à 50 *ha* de vignes et une surface de prairies irriguées suffisante pour pourvoir au moins à la nourriture des bêtes de somme nécessaires à l'exploitation. Dans la région de la Crau voisine des marais, les prairies créées dans ceux-ci pourront d'ailleurs permettre l'alimentation facile d'exploitations ne comportant que des vignes.

La Compagnie a déjà ainsi fondé cinq centres d'exploitation (quatre dans la haute Crau et un dans la basse Crau), ayant donné lieu

à la création de 280 *ha* de vignes et de 50 *ha* de prairies qui, venant s'ajouter aux 30 *ha* de prairies déjà existantes dans ces divers domaines, constituent des exploitations complètes.

Une des conditions essentielles de succès de la mise en culture des terres vierges de Crau consiste dans un défrichement et un défoncement du sol jusqu'au poudingue, qui ne peut s'obtenir pratiquement et économiquement que par le labourage à vapeur.

La charrue employée est une charrue renforcée toute en acier, pesant plus de 5000 *kg*, travaillant à *3 socs* seulement et actionnée par des machines de 40 chevaux de force.

Une charrue peut défricher environ 1 *ha* 5 par jour. Ce défrichement (y compris un puissant hersage également fait à la vapeur, lequel achève d'ameublir complètement le sol) coûte de 250 à 300 *f* par *ha* y compris l'amortissement du matériel.

Sans insister autrement sur les différentes opérations culturales nécessitées pour la création des prairies et des vignes dont nous donnons d'ailleurs le détail comme annexe (1), nous dirons seulement que le prix de revient d'un hectare en production est de 1 500 *f* pour les prairies et de 2 800 *f* pour les vignes.

Par hectare en production on entend l'hectare donnant des produits pouvant couvrir largement les dépenses d'exploitation, c'est-à-dire les façons, les engrais et les frais de récolte.

Si des accidents climatériques ne viennent pas entraver les opérations culturales, les prairies peuvent être en production à la deuxième année et les vignes à la cinquième année de leur création.

Pour un centre d'exploitation comportant 10 à 15 *ha* de prairies et 50 *ha* de vignes, les frais de construction des bâtiments y compris les celliers, ainsi que les dépenses de matériel et d'installations, sont d'environ 1 000 *f* par hectare, et si on ajoute à ces frais la valeur des terrains, les frais généraux et les intérêts intercalaires pendant la période de création, on arrive à une dépense totale de 4 500 *f* par hectare de vignes et de 3 000 *f* par hectare de prairies.

Quels sont les produits correspondant à ces dépenses assez élevées comme on le voit?

Bien qu'en matière agricole il soit difficile d'apprécier exactement le produit des cultures, comme, dans le cas présent, ces cultures ne sont qu'au nombre de 2, et d'un rendement moyen

(1) Annexes nᵒˢ 1 et 2, pages 792 et 793.

à peu près certain, l'évaluation des produits est plus facile et moins sujette à erreur.

En Crau, pour les prairies irriguées et fumées convenablement on peut compter sur un rendement moyen annuel de 9 à 10 000 *kg* de foin sec à l'hectare. (Certaines prairies de la Compagnie produisent jusqu'à 12 000 *kg* par hectare.)

Le prix de vente des fourrages, année moyenne, dans la région, est de 7 *f* à 7,50 *f* les 0/0 *kg*.

Le produit brut d'une prairie oscille donc entre 650 et 700 *f*, correspondant à un produit net moyen de 200 à 250 *f*, tous frais déduits.

Pour les vignes on peut sans aucune exagération admettre une récolte moyenne de 25 à 30 *hl* à l'hectare, récolte bien faible pour la région, mais compensée, il est vrai, par la qualité du vin qui se vend couramment 35 *f* l'hectolitre. (Le vin de Crau se vendait autrefois 50 *f* l'hectolitre.)

Le produit brut moyen d'un hectare de vigne peut donc être estimé de 900 à 1 000 *f* correspondant à un produit net d'environ 400 à 500 *f*, tous frais déduits.

On voit donc que les produits nets des terrains de la Crau mis en valeur, sans qu'il soit besoin d'avoir recours au colmatage, sont assez élevés par rapport aux dépenses de premier établissement correspondantes pour que, par la revente des terres ainsi améliorées, on puisse espérer compenser en partie les mécomptes qui ont été la conséquence de l'impossibilité de réalisation pratique du projet de fertilisation et de mise en culture de la Crau tel qu'il avait été conçu par M. Nadault de Buffon et approuvé par l'État comme base de la concession de 1881.

DESSÉCHEMENT ET MISE EN CULTURE DES MARAIS DE FOS

Situation topographique des Marais de Fos.

Ainsi qu'on l'a vu, les marais de Fos s'étendent sur une vingtaine de kilomètres, entre le canal d'Arles à Bouc et la partie inférieure de la Crau.

Leur superficie est d'environ 4500 *ha.*

Au centre de ces marais se trouvent deux grandes dépressions formant deux étangs dits du Landre et du Galéjon. Ces étangs communiquent entre eux par une série de canaux dits «des Gazes», l'étang du Galéjon, étant lui-même en communication avec le canal d'Arles à Bouc par une brèche, d'une quarantaine de mètres de largeur, faite dans la berge nord de ce canal. C'est dans ces étangs que viennent se réunir toutes les eaux des écoulages supérieurs et en particulier celles provenant de tous les territoires supérieurs d'Arles et de Tarascon, qui sont amenées dans ces étangs par les canaux dits de la Vidange, du Vigueirat et des Gazes, construits en 1642 par un ingénieur hollandais nommé Van Ens, qui avait entrepris, à cette époque, le desséchement de toutes les parties marécageuses, s'étendant sur près de 40000 *ha* aux environs d'Arles et de Tarascon.

Toutes ces eaux ont comme émissaire général vers la mer le canal d'Arles à Bouc, qui communique avec celle-ci par ses écluses de Bouc, en même temps que par une série de pertuis établis à travers la berge sud de ce canal, en face de la brèche faisant communiquer ce canal avec les marais. Ces pertuis sont munis de clapets battants permettant aux eaux du canal de s'écouler vers la mer lorsque le niveau de celle-ci le permet, mais empêchant les eaux de la mer, en cas d'intumescence de celle-ci, de rentrer dans le canal.

Par leur situation et par suite surtout des travaux de desséchement entrepris par Van Ens, les marais de Fos se trouvaient donc être le réceptacle de toutes les eaux d'écoulagés supérieurs dont le régime est réglé ainsi qu'on vient de le voir par celui du canal d'Arles à Bouc. Or, les eaux du canal d'Arles à Bouc varient de l'altitude (+ 0,86) au-dessus du niveau moyen de la mer à l'altitude (— 0,26) au-dessous de ce niveau. Leur régime moyen pendant la majeure partie de l'année étant la cote (+ 0,30) au-dessus

du niveau de la mer, il en résultait que la majeure partie des marais, dont l'altitude moyenne est inférieure à cette cote, était à peu près constamment noyée.

De plus, lorsque la mer était haute et que par suite tout écoulage y était suspendu, c'est dans cette immense cuvette formée par les marais de Fos que s'accumulaient toutes les eaux supérieures en attendant de pouvoir s'écouler à la mer, et, dans ce cas, les marais étaient recouverts par les eaux sur toute leur surface.

Pour réserver cette situation spéciale, en ce qui concerne les écoulages supérieurs, le cahier des charges de la concession du desséchement des marais de Fos a prévu que les étangs du Landre et du Galéjon ne seraient pas compris dans le périmètre des terrains devant jouir du bénéfice du desséchement, et resteraient en eaux vives pour servir de réservoir éventuel aux eaux supérieures qui continueront à venir s'y déverser pour, de là, se rendre au canal d'Arles à Bouc et à la mer.

Abandon du projet Nadault de Buffon, pour le desséchement et la mise en culture des Marais de Fos.

En ce qui concerne le desséchement et la mise en culture des marais de Fos, la solution du problème telle qu'elle avait été proposée par M. Nadault de Buffon et acceptée par l'État, n'était malheureusement pas plus pratique que la fertilisation de la Crau, telle que la concevait cet ingénieur.

Son projet était aussi basé sur le *colmatage* de ces marais au moyen des limons de la Durance.

Des colmatages successifs devaient, tout en fertilisant le sol, l'exhausser peu à peu, en même temps que l'asséchement de ces marais aurait été obtenu par abaissement du plan d'eau au moyen de machines d'épuisement.

Mais, dans ce cas, comme dans celui de la Crau, les dépenses de premier établissement à faire en vue du colmatage des marais étaient disproportionnées au résultat à en obtenir au point de vue cultural alors, surtout, que le colmatage ne pouvait dispenser de l'exécution de tous les travaux et installations de machines d'épuisement, nécessaires pour assurer le desséchement de ces marais.

Dans ces conditions, la Compagnie abandonnant toute idée de colmatage des marais de Fos, se préoccupa tout d'abord d'assurer leur desséchement dans les délais prévus, sauf à poursuivre en même temps l'étude de leur mise en culture ultérieure sans avoir recours au colmatage. C'est dans ce sens qu'un projet du desséchement de ces marais fut dressé et présenté à l'État qui l'approuva.

Dispositions adoptées pour le desséchement.

La configuration générale des marais à dessécher impliquait la constitution d'un certain nombre de bassins de desséchement isolés les uns des autres et ayant chacun un régime spécial de desséchement assuré au moyen d'un groupe de machines d'épuisement pour chaque bassin.

C'est d'ailleurs le principe d'exécution des Polders de la Hollande.

Chaque bassin est entouré à sa partie supérieure par un canal de ceinture dont les déblais forment digue du côté des marais. Ce canal est destiné à recueillir, s'il y a lieu, les eaux supérieures pour les empêcher de pénétrer dans les Marais et les conduire par écoulement naturel dans le canal d'Arles à Bouc et de là à la mer.

Des digues de ceinture, destinées à protéger les terrains desséchés contre l'envahissement des eaux extérieures, entourent également chaque bassin dans la partie basse.

La crête de ces digues est la cote (+ 2,00) au-dessus du niveau de la mer, de manière à laisser plus d'un mètre de revanche par rapport aux eaux extérieures dont le maximum d'élévation constaté a été la cote (+ 0,86).

Comme dans tout desséchement, l'abaissement du plan d'eau est assuré au moyen d'un réseau de canaux secondaires et tertiaires amenant les eaux à un collecteur général, lequel est en communication avec les pompes d'épuisement.

Les collecteurs généraux sont établis au thalweg de chaque bassin et leur plafond est de niveau. Le mouvement des eaux s'y fait donc par écoulement de surface, et leur largeur est proportionnée au cube d'eau qu'ils ont à amener aux pompes.

Les canaux secondaires suivent, au contraire, autant que possible, la ligne de plus grande pente du terrain; ils ont, par consé-

quent, leurs plafonds inclinés parallèlement à la pente du terrain où ils sont creusés, et leur direction est, en général, perpendiculaire à celle du collecteur général dans lequel ils se déversent.

Ils sont espacés de 500 *m* en 500 *m*. Leur largeur, au plafond, varie de 1 *m* à 2 *m*.

Enfin, les canaux tertiaires sont établis de 500 *m* en 500 *m*, perpendiculairement aux canaux secondaires, dans lesquels ils se déversent. Leur plafond est horizontal et au même niveau que le plafond du canal secondaire, dans lequel ils aboutissent, au point où a lieu leur jonction. Leur largeur, au plafond, est de 1 *m*.

Ces trois groupes de canaux forment l'ensemble des canaux principaux de desséchement, et leur surface en gueule représente $\frac{1}{50}$ environ de la surface totale des Marais à dessécher.

Quant à l'asséchement des terrains compris dans les carrés d'environ 25 *ha* situés entre ces divers canaux principaux, il est assuré, ainsi qu'on le verra à propos de la mise en culture, au moyen de rigoles de dimensions et d'écartement variables toujours dirigées suivant la ligne de plus grande pente des terrains et venant se déverser dans les canaux dits tertiaires.

En partant de ces données, le desséchement des marais de Fos a été projeté par la création de quatre bassins de desséchement.

1° Le bassin dit de Fos de 570 *ha* ;

2° Le bassin dit du Galéjon, de 370 *ha* (séparé du bassin de Fos par une grande étendue de marais qui ont été distraits du périmètre du desséchement comme étant des terrains industriels pour extraction de tourbes);

3° Le bassin dit de Capeau, de 1 500 *ha* ;

4° Le bassin dit de l'Étourneau, de 1 350 *ha*.

Les deux premiers bassins de desséchement de Fos et du Galéjon sont déjà en état de desséchement, le premier depuis 1884, le second depuis 1885.

Dans ces deux bassins, le réseau des canaux de desséchement a été entièrement exécuté à la main, par caissées successives entourées de batardeaux pour les protéger contre les eaux extérieures et maintenues à sec au moyen de puissantes pompes d'épuisement installées sur bateau. La masse des eaux d'épuisement et le peu de consistance du sous-sol qui ne pouvait supporter le poids des hommes ont rendu ces travaux particulièrement difficiles.

Les terrassements de ces canaux principaux sont revenus à

2 *f* le mètre cube y compris tous frais d'épuisement, dépenses accessoires et amortissement du matériel.

Dans les deux autres bassins, les collecteurs généraux s'exécutent à la drague, les déblais étant rejetés latéralement par long couloir, de manière à constituer la digue de protection contre les eaux extérieures. Le prix de revient de ces canaux est de 0,90 *f* le mètre cube, y compris l'amortissement de la drague. Les canaux secondaires et tertiaires de dessèchement s'exécutent à la main au prix de 1 *f* à 1,30 *f* le mètre cube (les frais d'épuisement étant moindres et le sol plus résistant), les déblais de ces canaux étant rejetés latéralement de manière à former l'assiette de chemins d'exploitation.

Les dispositions générales d'écoulement des eaux intérieures des marais vers les machines élévatoires étant ainsi déterminées, il a fallu se préoccuper du régime à donner à ces eaux pour assurer le dessèchement dans les conditions les plus favorables à la mise en culture.

En se basant sur les données que pouvaient fournir les dessèchements de marais similaires, on a admis que le sol naturel, sous l'influence du dessèchement et de la culture, s'affaisserait d'environ 0, 50 *m*, et comme il faut toujours laisser une revanche de 0, 50 *m* au-dessus du plan d'eau de dessèchement, on a dû prévoir la possibilité d'abaisser le plan d'eau à 1 *m* au-dessous du niveau du sol primitif des marais dans les points les plus bas. Ces points bas étant aux environs du niveau de la mer moyenne, on en a conclu que le plan d'eau devait pouvoir être abaissé de 1 *m* au-dessous du dit niveau, soit à la cote (— 1). Le plafond des canaux collecteurs a donc été fixé à la cote (— 1, 50 *m*) afin d'avoir toujours environ 0, 50 *m* d'eau dans ces canaux.

Restait à déterminer la quantité d'eau qu'auraient à enlever les machines d'épuisement pour maintenir d'une manière constante et régulière le plan d'eau du dessèchement à cette cote de 1 *m* au-dessous du niveau de la mer.

On n'avait malheureusement aucune donnée précise à cet égard, car la présence au milieu des marais de très nombreuses sources artésiennes dites *Laurons,* dont le nombre est très variable d'un bassin à un autre, ne permettait aucun mode de détermination pratique par comparaison avec des travaux similaires. La présence de ces sources avait fait même craindre que le dessèchement de certaines parties des marais où elles sont plus nom-

breuses fût impossible par simple abaissement du plan d'eau. L'expérience est venue heureusement démontrer que ces craintes étaient exagérées.

On dut, en conséquence, procéder par voie d'expériences successives.

Dans le premier bassin, dit de Fos (570 *h*), on commença par installer provisoirement deux pompes centrifuges de **350** ***mm*** de diamètre d'orifice, pouvant donner ensemble un débit de **700** à 750 *l* à la seconde.

Après une série d'essais et d'expériences, on arriva à cette conclusion qu'il fallait s'installer pour pourvoir à des épuisements pouvant atteindre jusqu'à **4** *l* par seconde et par hectare, pour les bassins de Fos et du Galéjon, soit **2 200** à **2 300** *l* par seconde pour le bassin de Fos et 1 500 à 1 600 pour le bassin du Galéjon.

Machines d'épuisement.

Restait à déterminer le choix des appareils à installer définitivement.

L'emploi de roues élévatoires paraissait tout indiqué, étant donnée la hauteur d'élévation relativement faible (1 *m* environ) et le volume d'eau considérable à épuiser par seconde. Mais pour que le rendement de ces appareils soit satisfaisant, il faut une grande fixité dans les niveaux d'amont et d'aval, car des variations, même très faibles, dans la position de ces niveaux, par rapport au seuil fixe de la roue, donnent lieu à des perturbations dans l'écoulement rationnel de l'eau, qui modifient d'une manière très sensible le rendement de ces appareils.

Or, pour le cas actuel, à l'amont, c'est-à-dire du côté du canal d'Arles à Bouc, les cotes de niveau des eaux varient de la cote (+ 0,86 *m*) à la cote (— 0,26 *m*), et à l'aval, c'est-à-dire le côté des marais, le niveau est nécessairement variable puisqu'il dépend de toutes les chutes d'eaux pluviales qui peuvent faire varier dans une certaine mesure le niveau du plan d'eau du dessèchement, ne fût-ce qu'accidentellement.

Comme on était pressé par des délais d'exécution très courts, on dut s'en tenir provisoirement à l'emploi de pompes centrifuges.

Après étude en Italie et en Hollande des différentes installations similaires, la Compagnie décida de confier la fourniture des

pompes à la maison J. et H. Gwynne de Londres, qui venait d'installer avec succès dans des conditions analogues, quoique plus vastes, à Codigoro, en Italie, les pompes d'épuisement des marais de Ferrare. Ce fournisseur garantissait pour ses appareils un rendement minimum de 50 0/0 entre le travail indiqué sur les pistons et le travail effectif en eau montée pour une hauteur d'élévation d'au moins 1 *m*, les consommations de vapeur par cheval indiqué et par heure ne devant pas dépasser 9,5 *kg*. Cette maison acceptait, de plus, des délais exceptionnellement courts pour la livraison des appareils.

On installa en conséquence pour le bassin de Fos (570 *ha*) deux pompes Gwynne de 0,762 *m* d'orifice pouvant débiter chacune de 1 000 à 1 200 *l* à la seconde, dans les limites d'élévation indiquées plus haut, et au bassin du Galéjon (370 *ha*) une pompe de 0,91 *m* d'orifice, d'un débit de 15 à 1 700 *l* à la seconde, dans les mêmes conditions au point de vue de l'élévation des eaux.

Ces pompes sont actionnées directement par des machines Compound à cylindres conjugués.

Dans ces deux installations, la vapeur est fournie par un groupe de deux chaudières (dont une de rechange), à foyer intérieur et faisceau tubulaire amovible (à cause de la mauvaise qualité des eaux) avec retour de flamme et réchauffeurs, et ayant chacune 80 *mc* de surface de chauffe y compris celle des réchauffeurs. Elles produisent 8 *kg* à 8,5 *kg* de vapeur par kilogramme de charbon.

Les pompes sont disposées en siphon de manière que tout en étant installées à un niveau supérieur aux plus hautes eaux d'amont (+ 2*m*), les extrémités des tuyaux d'aspiration et de refoulement (réduits cependant à une longueur minima pour diminuer les pertes de charges), plongent dans l'eau d'au moins 0,50 *m*, même dans les cas où les eaux atteindraient les niveaux les plus bas (— 1 *m*) pour l'aval (— 0,26 *m*) pour l'amont.

Les puisards d'amenée, de même que les canaux de fuite ont également été étudiés et disposés d'une manière toute spéciale afin d'éviter le plus possible les remous, pouvant donner lieu, soit à des rentrées d'air, soit à des abaissements de plan d'eau dans le puisard d'aspiration, ou à des intumescences dans le canal de refoulement.

Grâce à leur mode de construction très ramassée, les deux pompes du bassin de Fos avec leurs machines ont pu être instal-

lées symétriquement dans un bâtiment déjà existant ayant 6 *m* sur 10 *m*.

Les figures 2 à 6 de la planche 208 et les figures 1 à 5 de la planche 209 donnent les plans des installations des pompes d'épuisement des bassins de Fos et du Galéjon. Ces installations seront complétées ultérieurement par l'établissement de pompes de rechange d'un débit égal à celui des pompes existantes.

Essais des Pompes du bassin de Fos.

En dehors de la vérification à faire des conditions d'exécution du marché avec le constructeur, la Compagnie tenait essentiellement, en vue de ses installations ultérieures, à se rendre compte, par des essais de débit et de rendement très complets et surtout très exacts, du mode de fonctionnement de ces appareils.

Aussi, malgré la dépense importante que cela devait entraîner, fut-il procédé à ces essais avec un soin tout particulier en s'entourant de toutes les précautions nécessaires pour en assurer l'exactitude aussi rigoureuse que possible.

Nous avons pensé qu'il serait intéressant de donner quelques détails sur ces essais entrepris en dehors de toute préoccupation industrielle et portant sur des appareils à grand débit élevant l'eau à une très faible hauteur.

Pour évaluer le débit qui était le côté le plus intéressant de la question en même temps que la base de tous les calculs de rendement, on s'arrêta au mode de jaugeage par déversoir qui, pour des masses d'eaux aussi considérables, permet d'obtenir, dans des conditions pratiques, une grande précision.

Le déversoir employé fut le déversoir à nappe noyée, type de Boileau, et on prit, de plus, la précaution de l'installer dans les conditions identiques à celles qui avaient servi de bases à cet habile expérimentateur, afin de pouvoir faire usage des coefficients mêmes relevés par lui à la suite de ses très nombreuses expériences.

Le déversoir fut installé dans le centre d'un batardeau, en pieux battus et palplanches, barrant complètement le canal de fuite des pompes à une distance assez grande pour que l'influence des remous de l'eau à la sortie des pompes ne puisse se faire sentir sur la nappe d'eau du déversoir. On prit d'ailleurs dans la construction

du déversoir tous les soins indiqués par Boileau. Le déversoir avait 0,40 *m* de hauteur de chute. En amont, le canal du déversoir était prolongé sur 5 *m* de longueur et se terminait par une partie évasée dans le sens horizontal et vertical, de manière à éviter toute contraction de veine liquide à l'entrée du dit canal.

Des indicateurs de niveau à pointes métalliques, manœuvrés par vis de rappel et portant des index se déplaçant le long de règles graduées, étaient disposés, l'un à l'aplomb du biseau du déversoir et l'autre à 3 *m* en amont. Ces indicateurs étaient manœuvrés par des observateurs placés sur des passerelles en bois passant au-dessus du canal du déversoir et fixées sur des appuis absolument indépendants de ce canal, de manière à éviter toute trépidation ou toute secousse pouvant être communiquées à la nappe liquide.

Pour permettre d'évaluer exactement la hauteur d'élévation de l'eau, des flotteurs indicateurs de niveaux, disposés dans des tubes percés de larges trous pour les soustraire à l'influence des remous, étaient placés dans les puisards d'aspiration des pompes et à l'origine du canal de refoulement. Ils étaient munis d'index se déplaçant le long de règles graduées dont la concordance avait été scrupuleusement vérifiée au niveau.

Enfin sur chaque cylindre des machines étaient placés des indicateurs de Watt, type de la marine, construits et tarés par P. Garnier et la quantité d'eau introduite dans la chaudière était évaluée au moyen d'un compteur établi sur la conduite d'alimentation.

On avait enfin, par des expériences préalables, constaté les fuites du bief de refoulement en amont du déversoir (soit au travers du batardeau, soit à travers le sous-sol), de manière à pouvoir corriger en conséquence les débits constatés au moyen du déversoir.

Toutes ces dispositions étant prises, les essais furent faits en s'entourant de toutes les précautions possibles. Un observateur était chargé de noter la pression à la chaudière et d'en surveiller la marche ainsi que la consommation de charbon, un autre notait le vide du condenseur et le nombre de tours de la pompe au moyen d'un compteur de tours et un troisième notait les hauteurs d'élévation d'après les indicateurs. Deux observateurs relevaient simultanément les diagrammes sur les cylindres et enfin deux autres observateurs étaient placés sur le déversoir pour noter les niveaux de la nappe d'eau de 5 minutes en 5 minutes ; les autres observations et les prises de diagrammes sur les cylindres étant faites de quart d'heure en quart d'heure.

Telles furent les conditions d'extrême précision dans lesquelles furent faits les essais qui durèrent 8 heures consécutives pour chaque pompe et dont les résultats sont consignés dans les tableaux joints à la présente notice (1).

Ces essais furent d'ailleurs exclusivement dirigés par les Agents de la Compagnie sans la participation du constructeur. Ils ont été seulement suivis par M. Wreedenberg, ingénieur de la maison de Witt et Cie d'Amsterdam, venu exprès de Hollande pour y assister sur la prière de MM. J. et H. Gwynne.

Les résultats de ces essais prouvent que, dans des conditions d'installation satisfaisantes, on peut arriver, même pour des hauteurs d'élévation relativement très faibles, à des rendements encore assez élevés pour les pompes centrifuges, puisque, étant donné le rendement obtenu de 56 0/0 entre le travail en eau montée et le travail indiqué sur les pistons, on peut en conclure, en prenant même 85 0/0 pour le rendement spécial du moteur, que le rapport entre le travail en eau montée et le travail effectif sur l'arbre de la machine, c'est-à-dire le rendement propre de la pompe, a été d'environ 65 0/0.

Toutefois ce rendement diminue très rapidement dès que la hauteur d'élévation de l'eau s'abaisse; cela s'explique d'ailleurs naturellement, par ce fait que le volume débité par une pompe centrifuge ne croît pas proportionnellement à l'abaissement de la hauteur d'élévation, mais tend, au contraire, vers une constante qui ne peut être dépassée, quelle que soit la vitesse imprimée au disque de la pompe, et quel que soit l'abaissement de la hauteur d'élévation. Ce maximum de débit une fois atteint, le travail en eau montée décroît proportionnellement à la hauteur d'élévation et tend, par conséquent, vers 0 au fur et à mesure que cette hauteur tend elle-même vers cette limite.

Quant au travail résistant de la machine, il reste constant et tend même plutôt à augmenter, à mesure que l'effort à produire sur l'arbre diminue lui-même, de sorte que le rendement entre le travail effectif en eau montée et le travail sur les pistons n'en tend que plus rapidement vers 0, quand la hauteur d'élévation de l'eau diminue. Dans ces conditions, les consommations de charbon, par cheval, en eau montée et par heure, croissent, par conséquent, très rapidement, à mesure que la hauteur d'élévation diminue.

(1) Voir tableau, page 791.

Il a d'ailleurs été fait, à ce sujet, par la Compagnie, toute une série d'expériences très complètes sur les pompes installées au bassin de Fos, pour établir la loi approximative du rapport entre la consommation de charbon, le débit des pompes et la hauteur d'élévation de l'eau. Le résultat de ces très nombreuses expériences est consigné, comme annexe à la présente note (1), sous forme de courbes indiquant les variations de débit des pompes avec la vitesse de rotation et la hauteur d'élévation, et aussi la corrélation de la consommation de charbon avec les variations de la hauteur d'élévation de l'eau.

Ainsi, pour les pompes expérimentées et qui avaient été calculées pour le débit maximum de 1 000 à 1 200 *l* à la seconde, et pour une hauteur d'élévation de 1 *m* à 1,50 *m*, on trouve que la consommation de charbon, qui n'est que de 2 *kg* par cheval effectif en eau montée et par heure, lorsque la hauteur d'élévation est de 1,30 *m* à 1,50 *m*, passe à 2 500 *kg* lorsque la hauteur d'élévation n'est plus que de 1 *m*, monte à 3 *kg* lorsque la hauteur d'élévation n'est plus que de 0,75 *m* et va jusqu'à 4 *kg* quand cette hauteur d'élévation est de 0,50 *m*.

Il faut cependant reconnaître que l'on peut très notablement diminuer la consommation de combustible, même pour de faibles hauteurs d'élévation, en augmentant les sections d'écoulement de manière à donner de très faibles vitesses d'écoulement à l'eau. Aussi, pour les pompes de rechange que la Compagnie va installer prochainement et pour l'exécution desquelles elle a posé aux constructeurs, comme base du programme, l'élévation des eaux à une hauteur moyenne de 0,50 *m*, ceux-ci espèrent-ils pouvoir lui garantir, même pour cette faible hauteur d'élévation, une consommation de charbon ne dépassant pas 2 000 à 2 400 *kg* par cheval effectif en eau montée et par heure.

Projet de roues élévatoires pour l'épuisement des eaux du bassin dit de Capeau.

Toutefois, la Compagnie ayant été amenée à étudier les installations beaucoup plus importantes des machines élévatoires destinées à l'épuisement des eaux du 3e bassin de desséchement

(1) Planche 208, figures 9 à 12.

(bassin dit de Capeau), d'une superficie de 1 500 *h*, elle a cru devoir reprendre complètement la question du choix à faire entre les divers appareils élévatoires, d'autant plus que l'expérience des premiers travaux de mise en culture avait démontré que le desséchement du sol tient bien plus à la multiplicité des émissaires des eaux de desséchement qu'à un abaissement considérable du plan d'eau au-dessous du sol. Cette condition comporte comme corollaire, la nécessité d'être absolument maître de ce plan d'eau, puisque la revanche laissée entre le niveau du sol et celui de l'eau est plus faible.

Il faut donc disposer de moyens d'épuisement permettant d'enlever très rapidement des masses d'eaux énormes, surtout quand la hauteur d'élévation diminue, si l'on ne veut pas s'exposer à voir les cultures noyées, lors des fortes pluies si fréquentes à certaines époques de l'année dans le Midi.

Le programme à imposer aux appareils élévatoires les plus propres à assurer ce service spécial était donc le suivant :

Rendement encore satisfaisant même pour de très faibles hauteurs d'élévation (0,50 *m* et même moins parfois), et possibilité d'accroissement du débit à mesure que la hauteur d'élévation décroît.

Ce programme est difficilement réalisable par les pompes centrifuges. Les roues élévatoires seules y donnent satisfaction dans une certaine mesure.

Restait seulement la question du peu de stabilité de leur rendement quand les niveaux d'amont et d'aval varient. La Compagnie reprit alors l'étude détaillée des causes de cette infériorité des roues dans ces cas spéciaux. Avec le concours de la maison Feray d'Essonnes et après quelques tâtonnements, elle espère avoir trouvé la solution du problème au moyen d'une disposition permettant de faire varier le seuil d'amont de la roue (du sol même de l'usine et sans arrêter les machines), suivant les variations des niveaux soit d'amont, soit d'aval.

Un croquis de la disposition adoptée est joint à la présente note (1).

La maison Feray garantit que les roues installées dans ces conditions auront un rendement ne descendant pas au-dessous de de 50 0/0 entre le travail en eau montée et le travail sur les pistons, même pour des hauteurs d'élévation s'abaissant à 0,50 *m*.

(1) Planche 208, figure 8.

De plus, même quand la vitesse de rotation reste constante, les débits des roues augmentent à peu près dans la proportion de 1 à 2 quand les hauteurs d'élévation passent de 1 *m* à 0, puisque la roue dans ces conditions est de plus en plus noyée à l'aval.

Enfin, le débit étant proportionnel à la vitesse de rotation de la roue, on peut l'augmenter encore en augmentant cette vitesse de rotation, ce qui est une précieuse ressource pour les cas d'urgence exceptionnelle.

C'est donc un grand avantage, en cas d'inondation d'un bassin, d'avoir ainsi à sa disposition un engin dont le débit peut ainsi augmenter dans des limites aussi étendues, tout en donnant un rendement presque constant.

Sur la proposition dé la Compagnie, l'Administration supérieure a approuvé, pour pourvoir au maintien du desséchement du 3[e] bassin de 1 500 *ha* des marais de Fos, un projet d'installation de deux roues élévatoires à seuil mobile, de 8 *m* de diamètre sur 3 *m* de largeur, permettant d'élever ensemble 3 000 *l* à la seconde pour une hauteur d'élévation de 1 *m* (Pl. 209, fig. 6 à 9.)

Le débit de ces appareils peut sans augmentation de la vitesse de la roue, qui est très réduite en marche normale (0,75 *m* par seconde à la circonférence), atteindre jusqu'à 6 000 *l* lorsque la hauteur d'élévation tend vers 0. En augmentant cette vitesse, le débit augmente proportionnellement, mais le rendement tend alors à diminuer.

Ces appareils élévatoires seront soumis aux mêmes essais que ceux faits pour les pompes du bassin de Fos, et on pourra ainsi se rendre compte, par la comparaison des rendements obtenus, de la valeur respective des pompes et des roues pour le cas spécial en question.

On a cru intéressant d'insister quelque peu sur cette question spéciale de l'élévation de masses d'eaux considérables à de très faibles hauteurs et sur les rendements des appareils élévatoires dans ces conditions, parce que celles-ci se rencontrent rarement dans la pratique et que, par conséquent, on n'avait pas jusqu'ici de données précises et exactes sur le résultat du fonctionnement d'appareils dans de telles conditions.

Prix de revient des travaux de desséchement et dépenses pour le maintien du desséchement.

Les dépenses totales des travaux du desséchement proprement dit, comprenant la création des canaux principaux ainsi que l'installation des machines d'épuisement, se sont élevées à 1 250 *f* par hectare pour le bassin de Fos, et à 1 350 *f* par hectare pour le bassin du Galéjon (dans ce dernier bassin les fondations des machines ont été particulièrement difficiles, le sol résistant n'ayant été rencontré qu'à 5,60 *m* en dessous du niveau de la mer).

Ces mêmes dépenses rapportées à l'hectare seront sensiblement moins élevées pour les 2 autres bassins dont la surface est bien plus considérable et le sous-sol plus résistant.

Quant aux dépenses pour le maintien du desséchement des deux bassins déjà en état de desséchement qui est assuré d'une manière continue depuis plusieurs années au moyen des machines dont on vient de parler, elles se montent à environ 25 à 30 *f* par hectare et par an. Ces dépenses iront d'ailleurs en diminuant au fur et à mesure de la mise en culture, par suite du tassement des terres et par le fait de la végétation qui absorbera, en été du moins, des masses d'eau considérables.

Mise en culture.

Pour terminer il reste à parler de la mise en culture des terrains ainsi desséchés.

En tant que nature et composition chimique du sol, les marais de Fos comprennent trois zones absolument distinctes les unes des autres.

La partie haute de ces marais (dont l'altitude est supérieure à + 0,75 *m* au-dessus du niveau de la mer), bien qu'en partie soustraite aux inondations superficielles, est cependant encore très marécageuse. Elle se trouve constituée par un sol de composition argilo-calcaire dont l'épaisseur varie de 0,50 *m* à 1 *m*. En dessous, se rencontre le même poudingue que celui existant sous le sol de toute la Crau. Cette zone du marais est appelée « *la Coustière* ».

La partie basse des Marais est au contraire constituée par des terrains plus ou moins tourbeux, de consistance absolument molle, entremêlés de veines argilo-calcaires et supportant à peine le poids de l'homme. L'épaisseur de ces terrains va constamment en augmentant à mesure qu'on s'éloigne de « La Coustière » et elle varie de 1 *m* à 3 *m*. En certains points on descend même jusqu'à 5 et 6 *m* avant de rencontrer le sous-sol solide.

Cette deuxième zone constitue « *le Marais* » proprement dit.

Enfin le long du canal d'Arles à Bouc, entre l'étang dit du Landre et le Mas-Thibert, il existe une troisième zone de terrains plus ou moins bas, quelque peu salés et de composition absolument semblable à celle des terres de la Camargue.

La première zone ou « Coustière » occupe environ 1 000 *ha*, c'est-à-dire le quart de la superficie totale des marais de Fos, et s'étend en bordure de la Crau tout le long des marais, qu'elle borde ainsi au nord.

La deuxième zone ou « Marais » comprend environ 2 400 *ha*, c'est-à-dire les 3/5 de l'ensemble des terrains à dessécher.

Enfin la troisième zone s'étend, ainsi qu'on l'a dit, le long du canal d'Arles à Bouc et au nord de ce canal, sur une superficie d'environ 600 *ha*.

Dans la première zone on peut créer et cultiver avec avantages, des vignes françaises soumises à la submersion, des prairies arrosées et même, le cas échéant, des céréales.

Dans la deuxième zone on ne peut songer à créer que des prairies naturelles, comme celles des Polders de Hollande, puisant dans le sous-sol l'eau nécessaire à leur végétation.

Enfin, dans la troisième zone, étant donnée la légère salure de son sol, on ne peut guère songer à y créer que des prairies soumises à l'irrigation, du moins jusqu'à ce que le sol ait été à peu près complètement dessalé par ces irrigations.

La mise en culture de ces terrains présente des difficultés de tout autre ordre que celles qu'on rencontre dans la Crau.

La première condition de succès réside dans l'asséchement du sol qui ne se peut obtenir, même dans les parties hautes des marais, que par la création de nombreuses rigoles, toutes dirigées dans le sens de la plus grande pente du terrain.

Toutes ces rigoles d'asséchement viennent aboutir au réseau des canaux principaux de desséchement amenant les eaux aux pompes, et dont on a déjà donné la description sommaire.

Ce réseau de rigoles d'asséchement comporte des fossés de 2 *m* en gueule et de 1 *m* de profondeur, creusés tous les 40 *m* environ. Il est complété par des rigoles d'égout, plus ou moins espacées, suivant la nature du sous-sol. Ces rigoles, distantes de 5 à 10 *m*, suivant les cas, sont creusées sur 0,60 *m* à 0,70 *m* de profondeur, avec une largeur de 1 *m* en gueule. Elles sont d'ailleurs destinées à disparaître, au fur et à mesure des cultures, tout en maintenant dans le sol une série de vallonnements, facilitant l'écoulement des eaux.

Dans les parties des marais où le défrichement peut se faire par voie de labourage, soit à la vapeur soit par bêtes de trait, l'exécution de ces fossés ou rigoles d'asséchement suit les labours, et les déblais en provenant servent à l'exhaussement des points les plus bas.

Dans le cas, au contraire, où le défrichement ne peut se faire à la charrue, par suite du peu de résistance du sol, ou des trop grandes inégalités du terrain, l'exécution de ces fossés ou rigoles est la première opération de la mise en culture, ainsi qu'on le verra plus loin.

Le défrichement, c'est-à-dire l'opération consistant à détruire, aussi complètement que possible, la végétation primitive des marais et à en ameublir le sol, présente des difficultés toutes spéciales provenant de la contexture du sol superficiel de ces marais. Ceux-ci sont, en effet, presque exclusivement recouverts d'une végétation lacustre constituée par des joncs et une espèce de graminée appelée « Bauque » ayant des racines très longues et très résistantes, qui, en s'enchevêtrant les unes dans les autres, forment comme un feutre que les outils les plus tranchants ont de la peine à entamer.

Dans les parties hautes du marais, c'est-à-dire dans la Coustière où le sous-sol est plus résistant, le labour de défrichement se fait à la vapeur, au moyen d'une charrue spéciale à doubles socs disposés de telle façon que, travaillant à des niveaux différents dans la même enrayure, la bande supérieure du terrain formée du feutre dont il a été parlé, soit soulevée par le soc supérieur et rejetée dans le fond de la raie précédente, puis recouverte par la bande de terrain inférieure soulevée par le soc inférieur, faisant fonction de défonceuse.

Dans les parties où l'emploi de la charrue à vapeur est impraticable mais où le sol peut encore porter les animaux, le défrichement se fait au moyen de deux charrues se suivant dans la même

enrayure et faisant le même travail que la charrue à vapeur, mais à une moins grande profondeur, c'est-à-dire que la première charrue coupe le feutre superficiel sur une épaisseur de 0,10 *m* à 0,15 *m* et le verse en le retournant complètement dans le fond de la raie précédente, tandis que la seconde charrue achève de creuser la raie à 0,30 *m* ou 0,35 *m* de profondeur en versant la bande de sous-sol ramenée à la surface sur la bande de feutre déjà retournée, de manière à la recouvrir et à l'enterrer complètement.

Quand cela est possible, ce labour de défrichement se fait en « billons » de manière à former des ados larges de 8 à 10 *m*, entre lesquels subsistent des raies gouttières, lesquelles seront ensuite approfondies à la main pour constituer les rigoles d'asséchement.

Sur le sol de Coustière ainsi défoncé, et après l'exécution des fossés d'asséchement dans les parties où cela est nécessaire, on fait en général une première culture transitoire de colza, d'avoine ou de blé, puis on procède à la création des cultures définitives, soit vignes, soit prairies.

Mais dans les parties basses et tourbeuses qui ne supportent que très difficilement le poids des animaux de trait, le défrichement ne peut alors s'opérer qu'à main d'homme. Seulement comme le défoncement et le retournement complet du sol sur 0,30 *m* ou 0,35 *m*, coûteraient beaucoup trop cher, à cause de l'extrême résistance du feutre superficiel, pour arriver au défrichement, on est obligé d'opérer par étapes successives.

Il faut d'abord se débarrasser de la végétation naturelle recouvrant le sol en pratiquant un « écobuage » superficiel, qui consiste à enlever à la « sape » sur 8 à 10 *cm* la surface herbue des Marais et à la brûler sur place après qu'elle s'est desséchée au soleil. On creuse ensuite les rigoles d'égout, dont il a été parlé, en les espaçant de 5 à 6 *m*. Les déblais en sont rejetés latéralement et régalés avec soin, de manière à recouvrir l'intervalle séparant les rigoles d'une couche uniforme de 0,12 *m* à 0,15 *m* de terre plus ou moins ameublie.

On profite en même temps de cette opération pour mélanger les déblais provenant de veines de composition différente et pour pratiquer un premier nivellement rachetant autant que possible les inégalités naturelles du sol.

Sur ce sol ainsi préparé on sème du colza, qui est la seule plante qui consente à pousser dans ces terrains tourbeux, toujours un peu acides. En se développant, cette culture absorbe une très grande

quantité d'eau et assèche le sol à une certaine profondeur, en achevant de détruire l'ancienne végétation lacustre.

L'été suivant, après une première récolte de colza, le sol est généralement assez asséché pour supporter le poids de chevaux portant aux pieds de larges sabots.

On peut alors donner à la terre un léger labour permettant de semer soit encore du colza, soit de l'avoine si l'état du sol le comporte et on renouvelle ces cultures transitoires et préparatoires, en comblant successivement les rigoles d'asséchement jusqu'à ce que le sol soit assez bien constitué pour recevoir la semence de prairies. Ces prairies trouvent alors dans le sous-sol l'eau nécessaire à leur végétation, sans qu'il soit besoin d'avoir recours à l'irrigation, puisque grâce au jeu des machines, on est maître de faire varier le plan d'eau du desséchement suivant les besoins de la culture.

Ce dernier procédé de mise en culture est celui qui est pratiqué en Hollande depuis des siècles et qui a permis la création de ces vastes pâturages qui recouvrent la majeure partie des Polders de Hollande, polders qui fonctionnent dans des conditions absolument analogues à celles des bassins de desséchement créés dans les Marais de Fos.

Pour l'exécution des travaux de mise en culture à faire suivant cette dernière méthode, la Compagnie a d'ailleurs fait appel au concours de praticiens hollandais qui sont venus exécuter dans les marais de Fos avec leurs ouvriers, leurs chevaux et leur matériel de charrues, les premiers travaux de défrichement, travaux qu'ils ont réussis aussi bien que dans leur propre pays.

Il est assez curieux de noter que ce sont déjà des Hollandais qui, sous la conduite de Van Ens, sont venus il y a plus de deux siècles (1642) commencer les premiers travaux de desséchement des marais supérieurs des environs d'Arles et de Tarascon en construisant, ainsi qu'on l'a dit, les canaux de la Vidange et du Vigueirat et que ce sont encore maintenant des Hollandais qui viennent de donner le dernier coup de pelle pour transformer en terres cultivables les quelques milliers d'hectares de ces immenses marécages restés incultes jusqu'ici.

La composition chimique des terrains des marais diffère essentiellement de celle des terrains de la Crau.

Les terrains de Coustière sont riches en chaux et en azote; ceux des marais proprement dits ne contiennent que très peu de

matières minérales et sont naturellement riches en azote seulement (1).

Les engrais chimiques, à base d'acide phosphorique et de potasse, sont tout indiqués pour la fertilisation de ces terrains et dans la partie des marais proprement dits, les scories de déphosphoration qui contiennent des quantités notables de chaux (dont partie à l'état anhydre), sont particulièrement propices à la mise en valeur de ces terrains.

Ainsi qu'on l'a déjà dit, les seules cultures pratiquement réalisables dans les parties hautes des marais dites de Coustière sont celles de la vigne et de la prairie arrosée.

Dans les terrains profonds et peu perméables on peut planter avec succès des vignes françaises pouvant être soumises à la submersion pour les protéger contre le phylloxera, et dans les parties se rapprochant du sol de la Crau comme constitution et épaisseur de la couche arable, on sème des prairies qui sont ensuite arrosées au moyen des eaux mêmes provenant du desséchement des marais, remontées au niveau convenable au moyen de pompes, ces mêmes pompes devant servir, également, à remonter en hiver, les eaux nécessaires à la submersion des vignes.

Les premiers essais de culture de vignes entrepris par la Compagnie concessionnaire ont déjà donné des résultats satisfaisants.

Les vignes françaises, plantées dans la Coustière en 1884, ont donné, en 1888, une récolte de 42 *hl* par hectare et, bien que disposées pour la submersion, on n'a pas eu besoin de recourir à ce procédé pour la destruction du phylloxera, la présence de cet insecte n'y ayant pas encore été constatée, la nature du sol et son état d'humidité en hiver, empêchant probablement son développement

Quant aux prairies, déjà créées dans la Coustière, elles donnent les mêmes résultats que celles de la Crau.

Au contraire, dans les parties basses et tourbeuses des marais on devra se borner à faire des prairies naturelles; mais la nécessité où l'on est de passer par des cultures transitoires avant d'arriver à la création définitive de ces prairies, ne permet pas de donner encore des résultats précis à leur sujet.

Ainsi qu'on le voit, par les renseignements annexés à la présente note (2), le prix de revient de la création d'un hectare de vignes

(1) Voir annexe n° 3, page 793.
(2) Annexes n°s 3 et 4, pages 793 et 794.

dans la Coustière des Marais (2 800 *f* par hectare), est sensiblement le même que celui de la création de vignes en Crau ; car bien que la vigne soit en rapport au bout de quatre ans au lieu de cinq, les frais, nécessités par le défrichement plus coûteux du sol, ainsi que par la création des digues à prévoir en vue de la submersion éventuelle, sont à peu près équivalents aux frais de greffage et de plantation des plants américains.

La même observation est à faire au sujet du prix de revient de la création des prairies arrosées de la Coustière des marais, 1 500 *f* par hectare, les frais d'épierrement à faire pour la création des prairies en Crau étant remplacés, dans les marais, par le prix plus élevé du défrichement et de la préparation du sol.

Quant aux prairies naturelles à créer dans les parties basses et tourbeuses des marais, sans qu'on puisse donner des chiffres absolument précis à cet égard, à cause des aléas inhérents aux trois ou quatre années de cultures transitoires, par lesquelles on est obligé de passer avant d'arriver à la constitution définitive de ces prairies, leur prix de revient sera d'environ 1 200 à 1 500 *f* par hectare.

A tous ces prix, aussi bien pour les vignes que pour les prairies, il faut ajouter les frais de construction des bâtiments d'exploitation, la valeur des terrains, les frais généraux et les intérêts intercalaires pendant la période de création, qui comme pour les installations de la Crau sont de 1 500 à 1 800 *f* par hectare.

Comme produits à attendre de ces diverses cultures dans les marais, on estime que les vignes donneront environ 80 à 100 *hl* par hectare de vin valant environ de 15 à 16 *f* l'hectolitre, soit un produit net d'environ 800 à 1 000 *f*.

Quant aux prairies irriguées, elles donneront comme celles de la Crau un produit net de 200 à 250 *f* par hectare, les prairies naturelles des parties basses des marais devant donner par la consommation sur place des fourrages par les bestiaux un revenu d'environ 150 à 200 *f* par hectare.

A ce sujet, on croit devoir faire remarquer que le fait de la création dans cette région de la Provence, voisine de Marseille et de Port-Saint-Louis-du-Rhône, de prairies naturelles où l'on pourra mettre des bestiaux à l'engraissage en plein air, a une importance capitale à un point de vue national : celui du commerce des bestiaux algériens.

Dans ces prairies naturelles, on pourra, en effet, aussitôt leur débarquement et sans frais de transport, mettre en pâture les

troupeaux de bœufs et de moutons arrivant maigres et fatigués d'Algérie.

Ces bestiaux pourront par quelques semaines de séjour dans ces prairies, se remettre des fatigues de la traversée, s'engraisser et supporter alors facilement la concurrence des bestiaux italiens qui inondent les marchés de Provence, alors qu'actuellement nos bestiaux algériens, qu'on ne peut mettre à l'engrais dans *les prairies arrosées* (les seules qui existent dans la région), se vendent à vil prix à leur débarquement en France.

Le desséchement des marais de Fos aura donc pour résultat non seulement d'assainir et de transformer toute une région inhabitée et inculte jusqu'ici, mais devra amener en même temps une modification avantageuse dans le commerce des bestiaux d'Algérie au grand profit de notre industrie nationale.

Telle est, dans ses grandes lignes, l'entreprise de la mise en culture de la Crau et des marais de Fos, qui va continuer à se poursuivre avec le concours de l'Etat.

Les dépenses du desséchement et de la mise en culture des marais de Fos, y compris la valeur des terrains de ces marais, sont évaluées à 14 millions de francs, dont 12 sont garantis par l'Etat, et 2 sont à prélever sur les produits nets des marais.

Quant aux dépenses de mise en culture de la Crau, elles sont provisoirement réglées dans des conditions spéciales jusqu'à ce que la nouvelle convention, prévue à passer avec l'Etat, pour la réalisation complète de cette partie de l'entreprise, en ait déterminé les conditions définitives de mise en œuvre.

	POMPE N° 1	POMPE N° 2
Durée des essais	8 heures.	8 heures.
Pression moyenne à la chaudière	5,980 *k*	5,995 *k*
Vide moyen dans le condenseur	0,672 *m*	0,673 *m*
Nombre moyen de tours par minute	114,2 *t*	114,1 *t*
Epaisseur moyenne de la nappe d'eau sur la crête du déversoir	0,2614 *m*	0,2591 *m*
Hauteur minima d'élévation de l'eau	1,550 *m*	1,467 *m*
Hauteur maxima d'élévation de l'eau	1,801 *m*	1,758 *m*
Hauteur moyenne d'élévation de l'eau	1,670 *m*	1,6[illegible]8 *m*
Débit moyen de la pompe par seconde	1 070,17 *l*	1 059,52 *l*
Travail moyen indiqué dans le petit cylindre	18,772 *ch*	19,416 *ch*
Travail moyen indiqué dans le grand cylindre	22,750 *ch*	20,611 *ch*
Travail moyen total indiqué sur les pistons	41,522 *ch*	40,027 *ch*
Travail effectif en eau montée	24,030 *ch*	22,716 *ch*
Rendement entre le travail effectif en eau montée et le travail indiqué sur les pistons	0,579	0,567
Consommation de charbon par heure et par cheval effectif en eau montée	1,917 *k*	1,989 *k*
Consommation de charbon par heure et par cheval indiqué sur les pistons	1,109 *k*	1,129 *k*

Analyse physico-chimique du sol naturel de la Crau.

Eau volatile	1,90	à	1,50
Cailloux et sable grossier	50,07	à	52,27
Sable fin	17,30	à	16,80
Argile	27,77	à	26,50
Calcaire	0,95	à	1,00
Humus	2,01	à	1,93
	100,00		100,00

Analyse chimique du sol naturel de la Crau.

Fer et alumine solubles dans les acides	5,170	à	5,100
Chaux	0,530	à	0,560
Magnésie	0,020	à	0,020
Potasse	0,088	à	0,060
Acide phosphorique	0,100	à	0,120
Azote organique	0,101	à	0,102
Sable siliceux et matières insolubles	92,091	à	92.538
Eau	1,900	à	1,500
	100,000		100,000

Prix de revient de la création de prairies dans la Crau.

PAR HECTARE

Défoncement à la vapeur		f 225 »	
Hersage à la vapeur		30 »	
Premiers nivellements de surfaces		150 »	
Labours en travers à 2 colliers		42 »	
Hersage		15 »	
Epierrement à 40 mètres		100 »	
Façon des calants et billonnage		150 »	
Engrais, 1re année		250 »	
Semences et semailles		120 »	
Roulage		20 »	
Fossés principaux, 200 *m* à 0 *f* 35		70 »	
Fossés d'arrosage, 200 *m* à 0 *f* 16		30 »	
Bourneaux ou bouches d'arrosage : 100 à 50 *f* le cent		50 »	
Martellières :			
1 à 10 *f*	10 »		
8 a 6 *f*	48 »	58 »	
Arrosage double pendant la première année		100 »	
Epierrement et roulage après la première année		60 »	
Divers et Imprévus		30 »	
Total			1 500 »

Prix de revient de la création de vignes dans la Crau.

(VIGNES AMÉRICAINES GREFFÉES EN PLANTS FRANÇAIS)

PAR HECTARE

A. — *Travaux divers de défrichement, de plantation, de greffage et de culture.*

1re année. — Défoncement et hersage à la vapeur . . . . *f*		260 »	
Plantation : 3 200 pieds à l'hectare, à 120 *f* le mille, y compris replantation des manquants l'année suivante (racinés américains)		384 »	
Labourages : 1 à 2 bêtes	42 »		
3 à 1 bête à 25 *f*	75 »	117 »	
Binages : 2 à 2 fr. 50 les 1 000 pieds		16 »	
Soufrage contre oïdium, 1 à 7 *f*		7 »	
Sulfatage contre mildew, 2 à 8 *f*		16 »	
Soit pour la 1re année			800 »
2e année. — Taille des pieds non greffés		8 »	
Greffage de 2 500 pieds, dont 2 000 pieds réussissent, soit 2 000 à 50 *f* le mille		100 »	
Fourniture de greffons : 1 250 à 20 *f* le mille		25 »	
Déchaussage, à l'hectare		24 »	
Soins aux greffes, poses d'échalas, échalassage		90 »	
Labourages : 1 à 2 bêtes	42 »		
3 à 1 bête à 25 *f*	75 »	117 »	
Binages : 2 à 2 *f* 50 les 1 000 pieds, aux pieds non greffés		6 »	
Soufrages : 2 à 7 *f*		14 »	
Sulfatages : 2 à 8 *f*		16 »	
Soit pour la 2e année			400 »
3e année. — Plantation en racinés greffés des plants morts ou des plants greffés et non réussis : environ 500 à 290 *f* les 1 000 pieds		145 »	
Greffage de 800 pieds dont 640 réussissent, soit 640 à 50 *f* le mille		32 »	
Fourniture de greffons : 400 à 20 *f* le mille		8 »	
Déchaussage, à l'hectare		16 »	
Soins aux greffes, échalassage		20 »	
Labourages : 1 à 2 bêtes	42 »		
3 à 1 bête à 25 *f*	75 »	117 »	
Binages ; 2 à 8 *f* l'hectare		16 »	
Soufrages : 2 à 7 *f*		14 »	
Sulfatages : 2 à 8 *f*		16 »	
Taille, édrageonnage . 3 200 pieds à 5 *f* le mille		16 »	
Soit pour la 3e année			400 »
4e année, — Plantation en racinés greffés des plants morts ou des plants greffés non réussis : environ 200 à 300 *f* les 1 000 pieds		60 »	
Déchaussage, à l'hectare		16 »	
Soins spéciaux, échalassage		20 »	
Labourages : 1 à 2 bêtes	42 »		
3 à 1 bête à 25 *f*	75 »	117 »	
Binages : 2 à 8 *f* l'hectare		16 »	
Soufrages : 3 à 7 *f*		21 »	
Sulfatages 3 à 8 *f*		24 »	
Taille, édrageonnage		16 »	
Soit pour la 4e année			290 »
5e année. — Comme la 4e année, moins la replantation de racinés greffés (200 pour 60 *f*)		230 »	
Soit pour la 5e année			230 »
TOTAL des travaux divers de défrichement, de plantation, de greffage et de culture			2 120 »

B. — *Engrais et travaux spéciaux.*

Epierrement, par hectare . . . . . *f*	100 »	
Engrais, par hectare	400 »	
Enlèvement du chiendent, par hectare	100 »	
Clôtures, par hectare	40 »	
Divers	40 »	
Soit ensemble		680 »
TOTAL		2 800 »

Analyse chimique du sol de la Coustière des Marais de Fos.

Eau	20,000	
Matières combustibles	16,000	(dont 0,19 d'azote).
Sable siliceux et matières insolubles	47,200	
Alumine et fer	2,900	
Chaux	12,400	
Magnésie	»	Traces.
Potasse	0,026	
Acide phosphorique	0,045	
Matières non dosées, sulfates, silice soluble	1,429	
	100,000	

Analyse chimique du sol tourbeux des Marais.

Eau	80,000	
Matières organiques	16,400	(dont 1,37 d'azote).
Sable siliceux et matières insolubles	2,400	Soit 3,6 0/0 de matières minérales.
Chaux	0,910	
Alumine et fer	0,260	
Acide phosphorique	0,011	
Potasse	0,003	
Soufre, etc.	0,016	
	100,000	

Prix de revient

de la création de prairies dans la Coustière des Marais.

PAR HECTARE

1re année. — Défoncement et hersage à la vapeur (sur lequel on fait une culture transitoire dont le produit paie tous les frais) *f*		250 »
2e année. — Labourage à 2 bêtes		54 »
Hersage à 2 bêtes		27 »
Nivellements de surface		200 »
Façon des calants et billonnage		150 »
Engrais		250 »
Semences et semailles		120 »
Roulage		20 »
Fossés principaux : 200 *m* à 0 *f* 35		70 »
Fossés d'arrosage : 200 *m* à 0 *f* 15		30 »
Bourneaux d'arrosage : 100 à 50 *f* le cent		50 »
Martellières : 1 à 10 *f*	10 »	
8 à 6 *f*	48 »	58 »
Arrosage		50 »
Frais de desséchement, 2 ans à 40 *f*		80 »
Divers et Imprévus		91 »
Total		1 500 »

Prix de revient de la création de vignes dans les Marais (terrains dits de Coustière).

(VIGNES FRANÇAISES POUVANT ÊTRE SOUMISES A LA SUBMERSION, LE CAS ÉCHÉANT)

PAR HECTARE

A. — *Travaux divers de défrichement, de plantation et de culture.*

1re année. — Défrichement et hersage à la vapeur *f*		250 »	
Labourage en travers à 2 bêtes		54 »	
Hersage		27 »	
Nivellements de surface et brisage de mottes		180 »	
Terrassements des digues en vue de la submersion et fossés d'assainissement		250 »	
Plantation de 4 000 plants à 35 *f* le mille		140 »	
Labourages : 3 à 1 bête à 25 *f*		75 »	
Binage avec enlèvement du chiendent		30 »	
Soufrage et sulfatage, 2 à 15 *f*		30 »	
Façon des raies gouttières pour l'écoulement des eaux en hiver		10 »	
Soit pour la 1re année			1 046 »
2e année. — Remplacement des manquants : 35 0/0, soit 1 400 plants à 40 *f*		56 »	
Taille		15 »	
Achats d'échalas et échalassage : 4 000 à 45 *f* le mille		180 »	
Labourages : 1 à 2 bêtes	45 »		
3 à 1 bête à 25 *f*	75 »	120 »	
Binage : 2 à 8 *f*		16 »	
Soufrages et sulfatages : 2 à 20 *f*		40 »	
Enlèvement des échalas : 4 000 à 5 *f*		20 »	
Façon des raies gouttières		10 »	
Soit pour la 2e année			457 »
3e année. — Taille et enlèvement des sarments : 4 000 à 5 *f* le mille		20 »	
Pose des échalas et échalassage : 4 000 à 15 *f* le mille		60 »	
Remplacement des manquants en plants racinés : 500 à 90 *f* le mille		45 »	
Labourages, comme ci-dessus		120 »	
Binages : 2 à 8 *f*		16 »	
Soufrages et sulfatages : 3 à 20 *f*		60 »	
Enlèvement des échalas		20 »	
Façon des raies gouttières		10 »	
Soit pour la 3e année			351 »
4e année. — Comme la 3e année, moins le remplacement des manquants (45 *f*)		306 »	
Soit pour la 4e année			306 »
TOTAL des travaux divers de défrichement, de plantation et de culture			2 160 »

B. — *Engrais et travaux spéciaux.*

Engrais *f*	450 »	
Frais de desséchement : 4 ans à 40 *f* par an	160 »	
Divers	30 »	
Soit ensemble		640 »
TOTAL		2 800 »

NOTA. — On n'a pas porté de frais de submersion, l'expérience ayant prouvé que cela n'était pas nécessaire pendant les premières années.

RECHERCHES

SUR

LE PRINCIPE COMPOUND

ET SON APPLICATION AUX LOCOMOTIVES

PAR

M. A. PULIN

PRÉLIMINAIRES

L'application du principe compound est, sans aucun doute, un des problèmes les plus complexes et les plus importants, parmi ceux qui ont été proposés pour les locomotives, depuis l'époque déjà reculée où la démonstration pratique de l'adhérence et la découverte de la chaudière tubulaire ont mis en lumière leurs merveilleuses qualités et ouvert une large voie à des transformations rapides et fructueuses.

Le fait essentiel du principe compound réside, pour tous les genres de machines à vapeur, dans ses avantages économiques, mais il a en même temps pour les locomotives, quant aux arrangements du mécanisme, à l'adhérence, à la répartition de la charge et à l'échappement, des conséquences qui intéressent à la fois le moteur et le véhicule tout entier. Il présente enfin des caractères nouveaux, au point de vue des recherches expérimentales sur l'utilisation de la vapeur dans les cylindres.

Si, au point de vue mécanique et selon l'expression de M. Couche, la locomotive a fait école depuis de longues années, par contre, il n'y a pas longtemps qu'elle bénéficie des progrès réalisés dans la voie économique par les machines fixes et les machines marines. N'est-ce pas en effet de notre connaissance encore imparfaite des

locomotives *simples* que provient surtout la difficulté de l'étude des locomotives *composées ?*

La communication que j'ai l'honneur d'adresser à la Société n'est pas de nature à éclairer certains points obscurs encore, mais l'importance et l'actualité de la question sont telles, que je n'ai pas cru, après quelques retards involontaires, devoir me soustraire à l'obligation de vous apporter, en temps utile, comme éléments de discussion, les observations que je me suis trouvé à même de faire, sur les locomotives et certaines réflexions exprimées sous ma seule responsabilité.

Ce mémoire est divisé en quatre parties :

Après avoir dit quelques mots sur l'historique de la question, j'ai pensé qu'il était utile, tout d'abord, d'examiner les caractères habituels des locomotives à simple expansion.

En second lieu j'ai rappelé les caractères essentiels du principe compound, et mentionné, d'après les données théoriques et expérimentales, les faits principaux qui se rattachent à son application aux locomotives.

La troisième partie renferme un parallèle entre les deux systèmes de locomotives, au double point de vue des consommations et de la puissance.

Enfin, la quatrième partie est consacrée aux locomotives compound de la Compagnie du chemin de fer du Nord.

APERÇU HISTORIQUE SUR LA QUESTION DES LOCOMOTIVES COMPOUND

Il est un autre et puissant motif pour lequel la Société ne saurait se désintéresser de cette question. Nous avons, en effet, à peine besoin de rappeler que c'est à notre collègue, M. A. Mallet que revient l'honneur d'avoir réalisé pratiquement le fonctionnement compound sur les locomotives, et d'avoir propagé cette solution avec une conviction inébranlable et une infatigable persévérance (1). Aussi trouvons-nous dans les Mémoires de notre collègue, dans les procès-verbaux de séances et la chronique des bulletins, l'historique facile à suivre et toujours utile à consulter des locomotives à double expansion, depuis le premier exposé des

(1) Parmi les projets non exécutés, nous ne saurions passer sous silence celui que notre collègue, M. Morandière, a proposé pour les locomotives du chemin de fer Métropolitain de Londres, et qui a été publié dans l'*Engineering* du 23 novembre 1866. La note explicative de M. Morandière, rédigée plus tard sur ce sujet, et insérée par M. Mallet dans la chronique du *Bulletin* de mai 1882, est un curieux document historique. (Voir aussi la chronique du *Bulletin* de février 1882.)



considérations théoriques, et depuis les renseignements qui se rapportent aux locomotives de l'intéressante ligne de Bayonne à Biarritz (1), jusqu'aux applications récemment faites à l'étranger (2).

En appelant de nouveau l'attention de la Société sur ce sujet, nous croyons qu'il est de toute justice d'évoquer le souvenir de sa véritable origine ; nous terminerons donc ce court exposé de la question en faisant ressortir quelques faits trop peu connus et qui ne doivent pas tomber dans l'oubli, parce qu'ils montrent la part prise par M. Mallet dans l'étude des premières locomotives compound à l'étranger, ou tout au moins l'influence des résultats avantageux qu'il avait précédemment obtenus en France.

Ce fut d'après les dispositions des locomotives de la ligne de Bayonne à Biarritz que notre collègue, M. Webb, ingénieur en chef du matériel et de la traction au London and North Western Railway, fit en 1878 et années suivantes l'essai du système compound sur une locomotive transformée dans les ateliers de Crew, et les bons résultats qu'il obtint motivèrent la construction de la première locomotive Webb « l'*Experiment* », machine de grande vitesse à trois cylindres, dont deux de haute pression extérieurs, et un de basse pression intérieur, disposition que cet ingénieur a conservée sur les différents types qu'il a établis depuis. Il faut ajouter que la discussion, provoquée en juin 1879 à l'Institut des Ingénieurs Mécaniciens d'Angleterre par une communication de M. Mallet sur

(1) La locomotive système Mallet, qui figurait à l'Exposition de 1878, est décrite dans les publications industrielles de M. Armengaud (vol. 25, p. 31).

(2) A consulter notamment dans les Bulletins de la Société : *Etude sur les machines Compound* (1873, p. 221).

Etude sur l'utilisation de la vapeur dans les locomotives, et l'application à ces machines du fonctionnement compound (année 1877, p. 852).

Procès-verbaux des séances suivantes: 7 juillet, 3 mars, 21 avril et 5 mai 1876; 16 février et 2 novembre 1877; 2 février 1883.

Chroniques: Juin et décembre 1880; octobre 1881; janvier, février, mai et août 1882; août et décembre 1884; juin 1885; janvier et février 1886; janvier 1887; juillet 1888.

La Revue générale des Chemins de fer renferme, dans les numéros indiqués ci-après, la description des principaux types de locomotives compound, et les résultats des expériences faites sur quelques-unes d'entre elles :

Locomotive-tender de M. A. Mallet à l'Exposition Universelle de 1878 (numéros de mars 1879, mars et juin 1880).

Locomotive-tender de M. A. Mallet à l'Exposition d'Anvers en 1885 (numéro de janvier 1886).

Locomotive compound, à grande vitesse, type Webb (numéros d'octobre 1882, septembre 1883, mars et décembre 1884, février 1885 et juin 1888).

Locomotive compound, à grande vitesse, type Worsdell (numéros de décembre 1885 mai 1888 et janvier 1889.)

Locomotives compound, types von Borries et Sandiford (numéro de décembre 1886).

Locomotive à grande vitesse, système compound à quatre cylindres, de la Compagnie du chemin de fer du Nord, étudiée par M. A. de Glehn (numéros de mai et juin 1887).

Locomotive à marchandises type Woolf à quatre cylindres en tandem, de la Compagnie du chemin de fer du Nord, étudiée par M. Du Bousquet (nnméro de novembre 1888).

Locomotive-tender compound à marchandises, type Webb (numéro de juin 1888).

Locomotive compound à marchandises, type Worsdell (numéro d'avril 1887).

Locomotives compound à deux cylindres de même diamètre et à courses égales ou inégales (numéro de mai 1889).

les locomotives compound, ne contribua pas peu, chez nos voisins, à l'extension de ce système.

Un peu plus tard, la Compagnie du Great Eastern Railway mettait en service, avec succès, une locomotive compound de grande vitesse à deux cylindres placés sous la boîte à fumée, disposition étudiée par M. Wosdell, alors *superintendant* des locomotives à cette Compagnie, et depuis Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Compagnie du North Eastern Railway où il a introduit aussi un type de locomotives compound à marchandises.

Ce furent également les résultats économiques fournis par les locomotives compound françaises, qui décidèrent, en 1880, la Direction Royale des chemins de fer de l'État de Hanovre à prendre l'initiative de l'essai du système en Allemagne, et M. von Borries, Ingénieur en chef du matériel de ces lignes, établit ses plans d'après les machines à deux cylindres de M. Mallet, type qu'il a conservé dans de nombreuses applications ultérieures.

Enfin, à la même époque, et sur l'initiative de notre collègue M. Borodine, Ingénieur en chef du matériel et de la traction du chemin de fer Sud-Ouest russe, on transformait une locomotive, aux ateliers de Kieff, en vue du fonctionnement compound, suivant les plans de M. Mallet, et l'auteur de cette transformation a présenté à la Société, en 1886, les résultats des importantes recherches expérimentales qu'il a entreprises (1).

I. — Caractères habituels des locomotives à simple expansion.

Il est intéressant, à propos des locomotives compound, d'examiner, au moins sommairement, les conditions dans lesquelles marchent les locomotives ordinaires, conditions d'ailleurs assez variables avec les types de machines et le profil de la voie. Pour rester dans les généralités qui concernent les locomotives de grandes lignes, nous nous bornerons ici à considérer deux types de la Compagnie du Nord, très différents et très employés, les locomotives de grande vitessse à quatre roues couplées, et les ma-

(1) La communication de M. Borodine, insérée au *Bulletin* de septembre 1886, rend compte des remarquables expériences auxquelles l'application du fonctionnement compound et celle des enveloppes de vapeur ont donné lieu, sous sa direction ; elle a valu à notre collègue le prix Nozo (séance du 15 juin 1888).

chines à huit roues couplées affectées au service des marchandises. Leurs principales conditions d'établissement sont les suivantes :

DÉSIGNATIONS	LOCOMOTIVES DE GRANDE VITESSE	LOCOMOTIVES A MARCHANDISES
Diamètre des cylindres.	0,432 *m* ou 0,450 *m*	0,500 *m*
Course des pistons.	0,610 *m*	0,650 *m*
Diamètre des roues accouplées. . .	2,100 *m*	1,300 *m*
Timbre de la chaudière.	10 *kg*	10 *kg*
Poids adhérent	28 *t*	44 *t*

Sur des rampes moyennes, celles dont l'inclinaison est à peu près de 5 *mm* par mètre, l'admission des machines à grande vitesse, dans des conditions atmosphériques favorables, est d'environ 30 0/0 pour une charge utile de 130 à 135 *t*, considérée aujourd'hui comme faible, et pour une vitesse de 55 à 60 *km* à l'heure. Quant aux locomotives à marchandises, on peut estimer qu'elles remorquent sur les mêmes rampes, à la vitesse de 20 *km*, une charge de 600 *t* environ, avec une admission semblable.

Ce sont là, d'une manière très générale, pour ces deux sortes de machines, les éléments d'un travail que la production de la chaudière leur permet de fournir facilement, et qu'on peut accroître d'une manière notable en service courant, à la condition de pousser le feu activement. Eu égard aux variations du profil de la voie, le travail des locomotives des trains express se présente dans des conditions toutes différentes de celui des locomotives à marchandises. Pour l'une et pour l'autre, l'admission de 30 0/0 ne suffit pas lorsque le travail devient plus considérable ; mais tandis que ces dernières font, sur les pentes, de longs parcours à régulateur fermé, les premières, tout en marchant avec une admission réduite, qui ne descend généralement pas au-dessous de 20 0/0, restent toujours en traction

Pour une introduction de 30 0/0, les machines que nous considérons ont une détente de 45 0/0, et si l'on tient compte des espaces nuisibles, dont le volume peut être estimé à 8 0/0 de celui des cylindres, on trouve, avec les hypothèses ci-dessus, une expansion réelle égale à $\frac{75+8}{30+8}$ ou 2,2 volumes ; toutefois, comme à la fin de la course directe, l'échappement anticipé donne lieu sur

la face motrice du piston à un travail notable, on peut, surtout lorsque la vitesse moyenne de ce dernier est grande, admettre que le travail dû à la détente existe jusqu'à la fin de la course, et prendre comme valeur de l'expansion réelle $\frac{100+8}{30+8}$ ou 2,85. Il faut convenir que de tels chiffres indiquent une utilisation fort imparfaite du travail de la vapeur, et on remarque, en même temps, qu'ils conduisent à une pression d'échappement trop élevée. On peut, en effet, considérer la différence entre la pression de la chaudière et celle qui existe à la fin de l'admission comme étant environ de 2,5 *kg* pour une vitesse de piston modérée et une large ouverture du régulateur ; il s'ensuit que la vapeur s'échappe à une pression absolue voisine de $\frac{11-2,5}{2,2}$ ou 4 *kg* environ, alors qu'une pression de 2,5 à 3 *kg* suffirait. La pression d'échappement est à plus forte raison trop élevée lorsque le travail demandé à la machine exige une admission supérieure à celle de 30 0/0 que nous venons de supposer, et la chaudière suffit de plus en plus difficilement à la consommation des cylindres, par ce double motif qu'ils reçoivent plus de vapeur et qu'ils l'utilisent moins bien. Il est bien prouvé depuis longtemps que les grandes détentes obtenues dans un seul cylindre sont peu avantageuses, et peuvent même devenir nuisibles s'il n'y a pas d'enveloppe de vapeur, mais d'autre part, l'économie que procure l'expansion poussée jusqu'à 5 ou 6 volumes est un résultat constant des expériences faites sur les machines sans condensation (1); et cet accroissement de l'expansion serait d'autant plus désirable pour les locomotives, qu'il est facilité par une tendance générale et bien justifiée à l'élévation de la pression dans la chaudière; mais la réduction de l'admission en tant pour cent de la course n'est pas sans présenter en elle-même des inconvénients sérieux, et d'un autre côté, le moyen le plus simple *a priori* de mieux utiliser la détente, lequel consiste à augmenter le volume des cylindres, soulève des objections qu'il est utile d'examiner.

Observations sur les admissions réduites. — Pour un travail effectif déterminé, recueilli pendant une course de piston, l'irrégularité de l'effort transmis au bouton de manivelle est d'autant plus grande

(1) Nous ferons remarquer à ce propos que si on représente par 1 le travail à pleine pression d'un certain poids de vapeur, les travaux de détente pour des expansions de 2,85, 5 et 6 volumes sont respectivement représentés par 1 ; 1,6 ; 1,8. L'expansion de 2,85 permet de réaliser un travail total représenté par 2, tandis qu'on pourrait réaliser le travail 2,5, d'où résulterait une augmentation de 25 0/0.

que l'admission est plus courte. Nous n'entrerons pas dans le détail des inconvénients maintes fois signalés qui en résultent pour le mécanisme de propulsion et pour l'allure de la machine; nous nous arrêterons seulement à un point qui concerne le mécanisme de distribution, et dont on n'a peut-être pas assez fait ressortir l'importance.

Le mécanisme des locomotives est, en général, très bien entretenu ; toutefois, les pièces du mouvement du tiroir prennent rapidement un peu de jeu, lequel a d'autant plus d'importance relative que la course est plus faible, et il arrive que pour les admissions courtes la distribution se dérègle facilement ; le mécanicien emploie pour y remédier, le seul moyen qui soit en son pouvoir : il étrangle le passage de la vapeur au régulateur, ce qui lui permet d'augmenter la période d'introduction, mais en renonçant au bénéfice que pourrait procurer une plus grande détente.

Laminage de la vapeur par le régulateur. — Quant au laminage de la vapeur par le régulateur, aux inconvénients qu'il présente certainement, et aux avantages qu'il peut procurer, c'est une question controversée. Il est incontestable que la vapeur, en se détendant sans fournir aucun travail externe, abandonne de la chaleur qui doit la surchauffer légèrement, ou plutôt la rendre moins humide; mais, à ce propos, nous ferons remarquer que l'emploi de la vapeur réellement surchauffée ne semble pas avoir eu, au point de vue de la condensation à l'admission, une efficacité complète. En tous cas, si la chute de pression de la vapeur avant son entrée dans le cylindre est profitable sur les locomotives dans une certaine mesure, elle ne nous paraît pas pouvoir être poussée loin sans causer une perte de travail, et il est rationnel d'utiliser en travail, dans la plus large mesure, la chaleur emmagasinée dans la vapeur à haute pression (1).

En indiquant l'admission de 30 0/0 au moins, comme propre à développer, dans de bonnes conditions, la puissance normale des locomotives prises pour exemples, nous n'avons pas prétendu dire qu'une admission moindre soit impraticable ; il n'en est pas moins vrai qu'au-dessous de ce taux les inconvénients signalés croissent

(1) M. l'Ingénieur A. Bienaymé, ancien directeur de l'Ecole d'application du Génie Maritime, a rappelé dans son important ouvrage ayant pour titre *les Machines marines*, les expériences faites à Brest en 1874 par M. de Bénazé, sur la machine du *Champlain*, et où « la substitution de l'étranglement à la détente proprement dite a donné les mêmes résultats que celle-ci ».

Ces résultats sont importants, mais il faut bien remarquer qu'ils ont été fournis par une machine compound à condensation, avec cylindres munis d'enveloppes de vapeur. Nous reviendrons sur ce point en parlant du laminage par les tiroirs de distribution.

rapidement, et qu'il faut, autant que possible, pour une marche soutenue, avoir une admission au moins égale à 20 0/0.

Inconvénients des cylindres de grand volume. — On ne peut assigner une limite absolue au volume des cylindres de locomotives, et ceux des deux types de machines que nous venons de considérer semblent susceptibles d'être un peu augmentés, mais il faut y regarder de près avant de s'engager résolument dans cette voie, et chercher quelles peuvent être les conséquences d'une augmentation progressive du volume, et principalement du diamètre dont l'agrandissement offre une solution toute simple pour les types existants, en permettant de conserver la même course.

Un cylindre plus volumineux offre plus de surface à l'action refroidissante de l'air qui n'est pas négligeable, malgré la présence des enveloppes, lorsque la vitesse est grande. En second lieu, une des difficultés qu'on éprouve lorsqu'il s'agit d'utiliser un poids donné de vapeur dans un plus grand cylindre, consiste dans l'augmentation nécessaire des surfaces des lumières et du tiroir de distribution. Pour les locomotives de grande vitesse, et à marchandises, dont nous avons parlé plus haut, les rapports des surfaces des lumières d'admission aux surfaces des pistons sont de $\frac{1}{11,2}$ et $\frac{1}{11,4}$, et le degré d'ouverture des orifices est d'autant plus faible que l'admission est plus courte; les lumières ne sont, il est vrai, jamais entièrement découvertes aux plus grandes admissions, mais la totalité de leur section est nécessaire pour l'échappement, et leur ouverture maxima est en rapport direct avec leur largeur. Ces faits sont inhérents au système de distribution de la coulisse avec tiroirs à recouvrements, et la nécessité de proportionner la section des lumières d'admission à la surface du piston, en vue de l'échappement, fait qu'une augmentation de diamètre du cylindre doit conduire nécessairement à une augmentation de la surface et de la course du tiroir. Le volume des espaces nuisibles, dont les lumières forment la presque totalité, est donc proportionnel à celui du cylindre, mais pour une quantité déterminée de vapeur introduite, la condensation sur les parois et la réduction du taux de l'expansion donnent aux espaces nuisibles des machines simples une importance absolue. Comme ils ont d'ailleurs, relativement au travail produit par un poids donné de vapeur, des effets très différents, suivant qu'il s'agit de locomotives ordinaires ou compound, il est utile de rappeler leur influence à ce point de vue.

Influence des espaces nuisibles. — Soient :

c La compression exprimée en fraction de la course du piston.

z L'espace nuisible ramené à un volume cylindrique exprimé de même.

H La pression absolue dans la boîte à vapeur.

h La pression de la vapeur d'échappement normal, au début de la compression.

On sait que lorsque la vapeur d'échappement est ramenée dans les espaces nuisibles, par la compression, à une pression égale à celle qui existe dans le cylindre au début de l'admission, l'utilisation de la vapeur est la même que si les espaces nuisibles n'existaient pas. Seulement, le volume de la vapeur qui se détend étant plus grand, celle-ci s'échappe à une pression plus élevée, et l'augmentation du travail qui en résulte pendant la course directe compense plus ou moins exactement celui qu'il faut dépenser pendant la course rétrograde pour réaliser la compression. En admettant provisoirement que les volumes d'une même vapeur soient en raison inverse des pressions correspondantes, on exprime la condition énoncée ci-dessus par l'égalité : $\frac{H}{h} = \frac{c + z}{z}$, d'où on déduit l'étendue de la période nécessaire de compression :

$$c = \left(\frac{H}{h} - 1\right) z$$

La pression absolue h d'échappement normal est en moyenne de 1,2 *kg*, et les espaces nuisibles ne représentent pas moins des 0,07 du volume du cylindre, à chaque extrémité. Si la pression absolue dans la boîte à vapeur est de 9 *kg*, ce qui correspond à 8,5 ou 9 *kg* effectifs dans la chaudière, on trouve $c = 0{,}45$. La compression à 45 0/0 de la course est celle que donne la marche à très faible admission, obtenue dans le voisinage du zéro de la coulisse, et pour une admission de 30 0/0 très employée, la période de compression n'est que de 30 0/0 environ. Les espaces nuisibles, dans les locomotives ordinaires, ne peuvent donc se trouver remplis de vapeur ayant la pression de l'admission, et cette conclusion est d'autant plus vraie que l'hypothèse dont nous sommes partis, celle d'une valeur constante du produit des volumes par les pressions correspondantes, n'est généralement pas réalisée, et que la compression donne presque toujours lieu à une condensation notable.

La formule $c = \left(\frac{H}{h} - 1\right) z$ montre que le seul moyen de ren-

dre suffisante la compression telle qu'elle existe avec les tiroirs ordinaires à recouvrements, consiste à diminuer le rapport $\frac{H}{h}$, soit en ayant recours au fonctionnement compound, soit en abaissant la pression dans la boîte à vapeur des locomotives simples. Cette seconde solution, lorsqu'elle est praticable, est un argument en faveur de la marche avec régulateur étranglé, mais l'emploi des hautes pressions se trouve alors peu justifié.

Le système compound a donc, entre autres avantages, celui de faire disparaître complètement la perte de chaleur inhérente aux espaces nuisibles, lesquels sont même augmentés avantageusement sur le cylindre de haute pression. La perte de chaleur se trouvant annulée, le mot *nuisible* n'est réellement plus applicable aux machines compound au sujet desquelles nous emploierons désormais l'expression d'*espaces neutres*.

Entretien des tiroirs. — Pour terminer nos observations sur les cylindres de grand volume, nous ajouterons qu'ils ont l'inconvénient d'exiger des tiroirs de grandes dimensions, absorbant un travail important par le frottement, et d'être exposés à de fréquentes ruptures lorsque la pression qu'ils supportent est élevée. Il est inutile d'insister ici sur cette question de l'entretien onéreux d'une des pièces les plus sujettes à l'usure; nous y reviendrons.

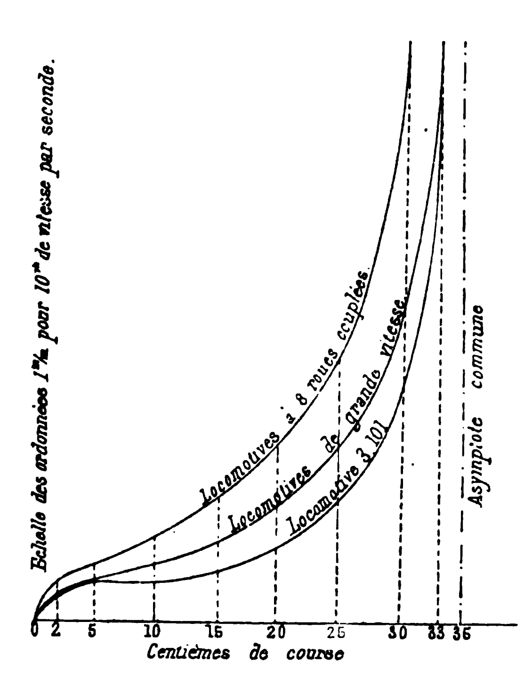
Laminage de la vapeur par les tiroirs. — Enfin, le laminage de la vapeur, dont nous avons parlé à propos de l'ouverture réduite du régulateur, se reproduit pendant l'admission dans les cylindres, mais cette fois d'une manière inévitable, avec les distributions ordinaires. La chute de pression, à ce moment, est due à la faible section de l'orifice qui exigerait, pour la vapeur, une vitesse théoriquement considérable, et en réalité plus grande encore, à cause de la contraction de la veine fluide

La condensation plus ou moins abondante, qui a lieu pendant l'admission, est une raison de plus pour que cette vitesse augmente ; toutefois, la comparaison des diagrammes relevés sur différentes machines et à des vitesses variables, nous a montré qu'elle dépend surtout de la relation existant entre l'ouverture maxima de la lumière, la surface du piston et sa vitesse. Aussi l'exagération du diamètre du cylindre contribue-t-elle à accentuer la chute de pression par le laminage, non seulement au moment de la fermeture de la lumière, mais en pleine admission, phéno-

mène d'autant plus à craindre que, d'après les proportions habituelles des cylindres, la vitesse de la vapeur traversant la lumière y est fort élevée.

Nous avons calculé pour les deux types de machines dont nous nous occupons, et pour une admission de 35 0/0, ces vitesses de la vapeur pendant l'admission. Nous avons supposé la locomotive à huit roues couplées marchant à 25 *km* à l'heure, et la locomotive de grande vitesse marchant à 40 *km*, ce qui donne le même nombre de tours de roues par unité de temps. Les résultats trouvés sont représentés graphiquement ci-après, en prenant pour abscisses les chemins parcourus par les pistons, et pour ordonnées les vitesses de la vapeur obtenues en divisant par la section de passage à l'instant considéré, le produit de la vitesse du piston par sa surface (1).

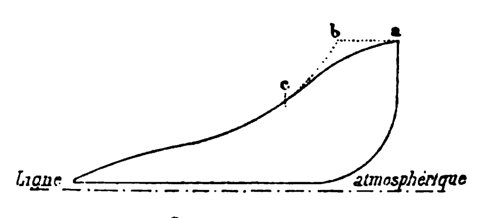
On voit sur l'une et l'autre courbe que, dans des conditions pourtant favorables à l'introduction, surtout pour la locomotive de trains express, la vitesse de la vapeur n'a pas de minimum, et qu'elle atteint, à 100/0 de la course, en pleine admission, 76 *m* par seconde pour les machines de grande vitesse et 112 *m* pour les machines à marchandises.



On doit conclure des observations qui précèdent que pour obtenir d'un poids donné de vapeur un plus grand travail en augmentant le volume des cylindres, il faut, ou subir les inconvénients que présentent de plus grandes lumières, ou accepter les conséquences d'un laminage plus prononcé, dont le moindre inconvénient est d'exiger un cylindre de plus grand

(1) La 3e courbe se rapporte à une locomotive compound dont il sera question plus loin.

volume pour produire un travail donné. Le diagramme d'indicateur représenté ci-contre montre la chute de pression que l'on constate généralement pendant une admission de 30 0/0 pour une vitesse moyenne de marche. Le laminage donne donc lieu à une perte de travail figurée par le triangle curviligne *abc* obtenu en prolongeant la courbe de détente jusqu'à la ligne horizontale qui correspond à la pression initiale d'admission.



Dans les machines de manufactures, on est parvenu à supprimer complètement les effets du laminage par l'emploi des distributions à déclic. Une autre solution proposée pour les locomotives par notre collègue, M. Jules Garnier, qui l'a étudié en collaboration avec M. Marcel Deprez, est donnée par la distribution à mouvement elliptique (1), dans laquelle l'excentrique conduisant le tiroir est calé sur un arbre dont la vitesse de rotation est variable, de façon à découvrir et à fermer rapidement les lumières d'admission.

La distribution elliptique a été essayée sur la locomotive mixte nº 2430 de la Compagnie du chemin de fer du Nord, et elle a donné, au point de vue de la consommation de charbon des résultats concluants. Cette machine comparée pendant quatre ans, de 1874 à 1877 avec les locomotives de sa série affectées au même service, a fait une économie de combustible assez importante ; de plus, les diagrammes d'indicateur relevés sur les cylindres après l'application de cette distribution, ont montré que le laminage de la vapeur était fortement attenué, et n'avait lieu qu'au moment de la fermeture des lumières.

L'économie de combustible réalisée uniquement par des conditions meilleures de l'introduction permet de conclure que la perte de travail occasionnée par le laminage de la vapeur ne trouve pas de compensation sur les locomotives par le fait d'une transformation quelconque de l'énergie et qu'elle correspond à une perte très sensible de chaleur.

Remarque sur la pression initiale. — Nous nous sommes abstenu de parler des phénomènes de condensation et de revaporisation qui, sous l'action calorifique des parois du cylindre, modifient si profondément les conditions théoriques du travail de la vapeur.

(1) Cette distribution a été décrite par feu notre collègue, M. G. Pascal, dans le *Bulletin* de juin 1873 de la Société des Anciens élèves des Écoles d'Arts et Métiers.

Nous estimons que ces phénomènes sont aujourd'hui suffisamment connus, surtout dans leurs causes, pour qu'il ne soit pas nécessaire d'en reproduire l'analyse. Il suffira de rappeler que le principe compound trouve là une de ses principales raisons d'être pour les locomotives et nous nous contenterons de présenter, au sujet de l'emploi des pressions élevées, l'observation suivante :

La pression initiale dans le cylindre a sur l'utilisation de la vapeur une influence spéciale, indépendamment des autres conditions de marche. Pour le même degré d'introduction, une pression initiale plus élevée, qu'elle provienne d'une ouverture plus grande du régulateur ou de la lumière, ou bien qu'elle résulte d'une élévation de pression dans la chaudière, a pour conséquence une augmentation du travail indiqué, en même temps qu'une plus grande condensation à l'admission, à cause de la différence croissante entre les températures extrêmes de la vapeur. Si on admet, au contraire, que le travail restant le même, l'accroissement de la pression a pour objet une plus grande détente produite par une réduction de l'admission, la remarque précédente, relative à la condensation, s'applique *a fortiori*, et ce que nous avons dit plus haut, à propos de la diminution de course du tiroir, est à prendre en considération.

II. — Des caractères essentiels du fonctionnement compound et de leur application aux locomotives.

Principes généraux. — Une utilisation plus complète du travail de la détente, une atténuation prononcée de la condensation dans les cylindres, et une usure moins rapide des pièces du mécanisme, tels sont les avantages qu'on peut attendre de l'application du principe compound aux locomotives.

M. Mallet, avons-nous dit, a exposé d'une manière détaillée, au point de vue de ce genre de moteur, les conditions du travail de la vapeur dans des cylindres successifs ; nous reproduirons succinctement les conclusions de notre collègue, car s'il est vrai que les considérations théoriques se trouvent parfois, ici comme ailleurs, en contradiction apparente avec les faits de la pratique, on ne saurait, sans s'exposer à des mécomptes, se dispenser d'y recourir constamment.

M. Mallet, sans repousser aucune des combinaisons rationnelles qui peuvent être faites, relativement au nombre, aux proportions et à la disposition des cylindres, s'est toujours attaché de préférence à la solution qui n'entraîne aucune complication, c'est-à-dire à l'emploi de deux cylindres, dont l'un admetteur et l'autre détendeur.

Au point de vue théorique, le nombre des cylindres importe peu, et les propositions ci-après qui, pour plus de simplicité dans le langage, sont énoncées pour les machines à deux cylindres, s'appliquent aussi à toutes les locomotives compound.

1° Le travail d'une machine compound est le même que si le cylindre détendeur existant seul, la vapeur de la chaudière y était admise directement et y subissait la détente totale.

2° Le cylindre détendeur devant toujours pouvoir débiter la vapeur qui provient du cylindre admetteur, sans occasionner dans ce dernier une contre-pression exagérée, le volume de la vapeur admise au second cylindre ne doit pas être inférieur au volume du cylindre de haute pression.

3° En raison de cette seconde condition, les distributions doivent être indépendantes l'une de l'autre, au moins d'une manière facultative, lorsque le rapport du volume du grand cylindre au volume du petit est 2 ou inférieur à 2, afin que l'admission au cylindre détendeur puisse toujours être prolongée jusque dans la seconde moitié de la course, sans exiger une admission aussi grande au cylindre admetteur.

4° Lorsque la pression au réservoir intermédiaire est égale à la pression finale du cylindre de haute pression, on n'en diffère que très peu, l'expansion totale est égale au produit des expansions partielles dans les deux cylindres, et l'expansion au cylindre détendeur est égale au rapport des volumes des cylindres.

Il est essentiel de remarquer que l'utilisation de la même vapeur dans deux cylindres successifs n'a pas pour but de chercher à recueillir sur les pistons un travail total différent de celui qui serait produit par cette vapeur sur le piston d'un cylindre unique, dans lequel il n'existerait pas de condensation ; on cherche, au contraire, à se rapprocher le plus possible de cette conception, et le dédoublement du cylindre, qui repose principalement sur la considération de l'influence des parois conductrices de la chaleur, a pour objet l'emploi d'une détente peu prolongée dans chaque cylindre, compatible avec une expansion totale suffisam-

ment étendue. Toutefois, une objection se présente immédiatement. Pour qu'une locomotive compound soit comparable, comme puissance, à une autre locomotive à simple expansion, il faut (nous le verrons plus loin) que le cylindre de haute pression de la première soit, toutes choses égales, plus volumineux que chaque cylindre de la seconde; celui de basse pression, beaucoup plus volumineux, semble être exposé aux critiques que nous avons formulées relativement aux machines simples; il n'en est rien cependant, à cause des conditions toutes différentes de pression initiale et d'admission dans lesquelles il se trouve.

Rapport des volumes des cylindres. — Comme corollaire de la première proposition ci-dessus, le travail total est indépendant de ce rapport; il ne dépend que du poids de la vapeur introduite dans le cylindre de haute pression et du volume du cylindre de basse pression; sans être indifférent en lui-même, il est surtout la conséquence de certaines conditions à remplir par les deux cylindres considérés séparément, telles que, pour le premier, celle d'utiliser avec une détente peu prolongée la quantité de vapeur qui correspond à la puissance maxima de la machine fonctionnant en compound; et pour le second, celle de ne pas avoir une admission trop réduite ni des dimensions exagérées, et celle de se trouver rempli par la vapeur détendue jusqu'à la pression atmosphérique lorsque la machine fournit un travail peu important. Bien que cette dernière condition ne soit pas rigoureuse, il y a cependant intérêt à s'en rapprocher pour éviter autant que possible l'aspiration des gaz de la boîte à fumée et leur arrivée dans les cylindres à la fin de la course.

Le rapport 2 paraît être un peu faible, surtout lorsque la pression de la chaudière est élevée, et d'ailleurs lorsqu'on atteint le rapport 2,2 on a, comme nous le verrons, l'avantage de pouvoir lier les distributions et d'employer un seul changement de marche, ce qui simplifie à la fois la construction et la conduite de la machine. Le rapport de 2,3 à 2, 5 paraît très convenable; ce dernier nécessite une admission au grand cylindre de 40 0/0 environ. En supposant celle du petit cylindre égale à 45 0/0 et en tenant compte des espaces nuisibles évalués à 12 0/0 pour le cylindre de haute pression et 7, 5 0/0 pour le cylindre de basse pression, l'expansion réelle serait de $\frac{100+12}{45+12}$ ou 1,96 pour la haute pression et

$\frac{100 + 7,5}{40 + 7,5}$ ou 2,26 pour la basse pression, soit une expansion totale de 1,96 $\times$ 2,26 ou 4,4 volumes (1).

L'hypothèse que nous venons de faire implicitement dans ce calcul, d'une détente se continuant dans le cylindre admetteur jusqu'à fin de course est très admissible, même dans le cas d'une vitesse modérée ; l'examen des diagrammes ne laisse aucun doute à cet égard, et on trouve là une restitution partielle du travail perdu à la fin de l'admission par suite du laminage. Lorsque le piston arrive à la fin de sa course, la lumière se trouve ouverte en grand pour l'échappement, et à ce moment, il y a sensiblement équilibre entre les pressions du cylindre et du réservoir.

Si on suppose une tension absolue de 13 *kg* dans la chaudière et de 10,5 *kg* au commencement de la détente (chute de pression qui peut sembler exagérée et qui, cependant est atteinte même avec une ouverture importante du régulateur), la pression calculée (1) existant à la fin de la course dans le grand cylindre serait de $\frac{10,5}{4,4} = 2,4$ *kg*, et antérieurement, aurait été de 3 *kg* environ au commencement de l'échappement, ce qui est plus que suffisant pour le tirage. Si, en raison de cette pression de 12 *kg* effectifs dans la chaudière, il est possible d'atteindre une expansion supérieure à 4,4 volumes, on voit d'autre part, d'après cet exemple, combien il est nécessaire de recourir aux pressions élevées et de réduire au minimum la chute de pression due au laminage, pour utiliser la détente jusqu'à la limite de 5 à 6 volumes.

Volume du réservoir intermédiaire. — Le cylindre de basse pression fonctionne avec la vapeur du réservoir, comme le cylindre de haute pression fonctionne avec celle de la chaudière, sans qu'il soit nécessaire de donner à ce réservoir un grand volume ; on admet qu'il doit être égal au moins à 1 fois 1/2 celui du petit cylindre ; le rapport 2, nous paraît préférable pour éviter des variations de pression trop prononcées. Sur une locomotive pour laquelle ce rapport était de $2\frac{1}{2}$ environ, nous avons trouvé, d'après le dia-

(1) Pour obtenir une telle expansion dans un seul cylindre, il faudrait abaisser à 15 ou 16 0/0 le taux de l'admission, et même descendre plus bas, l'échappement anticipé très prolongé alors (40 0/0 environ) ne permettant plus d'assimiler cette période à celle de détente.

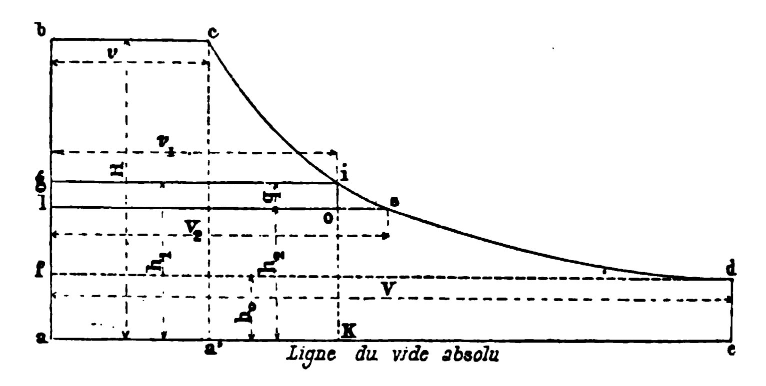
(1) Nous avons presque toujours constaté que la formule pv = constante, était applicable, sans erreur sensible, à la détente de la vapeur dans les cylindres des locomotives dont nous avons étudié les diagrammes ; il n'en a pas été de même pour la compression, durant laquelle les pressions augmentent moins vite que ne l'indiquerait cette formule.



gramme des pressions au réservoir, un écart de $\frac{1}{5}$ de *kg* en plus ou en moins de la pression moyenne, ce qui a très peu d'importance.

Chute de pression au réservoir intermédiaire. — Cette chute, qui est constituée par la différence entre la pression à la fin de la détente dans le premier cylindre, et la pression moyenne au réservoir, ne peut être nulle lorsque l'admission au second cylindre est convenable, puisque la vapeur subit nécessairement une perte de charge en passant d'une capacité dans l'autre ; mais la chute peut être assez faible pour procurer l'utilisation complète de la détente, depuis la fin de l'admission au cylindre admetteur, jusqu'à la fin de la course au cylindre détendeur ; il suffit pour cela que la pression obtenue au commencement de l'échappement normal du cylindre de haute pression soit précisément celle du réservoir, condition qui peut toujours être réalisée, et qui l'est généralement. Si toutefois on est conduit, pour faciliter le roulement de la machine, à abaisser la contre-pression au premier cylindre en augmentant l'admission du second, l'excès de chute de pression que l'on provoque alors n'entraîne, lorsqu'il n'est pas très prononcé, qu'une perte de travail peu importante, ce dont il est facile de se rendre compte.

Le travail absolu d'un poids donné de vapeur agissant à pleine pression sur un piston est exprimé par le produit de son volume V multiplié par la pression correspondante H ; on peut donc le représenter graphiquement (fig. ci-après) par un rectangle *abca'*.



Le travail de cette même vapeur se détendant jusqu'à une certaine pression, h_0 est représenté par l'aire *a'cde* dont les abscisses sont

proportionnelles aux volumes et les ordonnées aux pressions Le travail total, qu'il soit obtenu dans un seul cylindre ou dans deux, est évalué, s'il a lieu sans aucune chute de pression, par la surface *abcide*, tandis que *fbcid* indique le travail effectif, déduction faite de celui de la contre-pression h_0. Dans le cas où cette même vapeur, détendue jusqu'à une pression h_1, subit une perte de charge q, sans fournir aucun travail externe, puis continue à se détendre en travaillant, le travail effectif qu'elle fournit pendant la première période est figuré par la surface *abcik* — *alok* = *lbcio*, et celui qu'elle donne pendant la seconde est *flsd*. La chute de pression a donc occasionné une perte représentée par le triangle curviligne *ois*, et on voit que pour une même chute q, la surface de ce triangle varie avec h_1, et en sens inverse.

Le travail de la vapeur est réalisé tel que nous venons de le supposer, dans une machine compound où h_1 est la pression d'échappement à la fin de la course, dans le cylindre de haute pression, q la chute de pression au réservoir, h_2 la pression à l'admission au cylindre de basse pression. Nous venons de voir que la perte absolue de travail, résultant d'une chute déterminée, dépend de la pression à laquelle elle commence à se produire, et comme une expansion déterminée d'un certain poids de vapeur, donne lieu à une pression h_1 d'autant plus faible que le premier cylindre est plus grand, on voit qu'il y a intérêt à ne pas détendre beaucoup dans celui-ci. Nous ajouterons, toutefois, que cette conclusion n'a pas une importance très grande et ne doit pas être prise seule en considération dans le choix du rapport des volumes des cylindres.

Reprenant les données des calculs précédents, nous avons cherché quelle serait la perte due à une chute de pression de 1 *kg* au réservoir, rapportée au travail effectif total. Les données sont : H, pression absolue au commencement de la détente au premier cylindre : 10,5 *kg*.

Expansion réelle au premier cylindre	1,96
Rapport des volumes des cylindres.	2,5
Expansion réelle totale	4,4

La figure ci-dessus a été tracée dans ces conditions, et on a :

$$h_1 = \frac{10,5}{1,96} = 5,4\ kg,\ q = 1\ kg,\ h_2 = 4,4\ kg.$$

Le graphique indique que la perte serait de 1,5 0/0 environ du travail effectif total. Ce résultat montre que s'il est important de chercher, par l'emploi du fonctionnement compound, à utiliser la

détente la vapeur beaucoup mieux qu'on ne le fait actuellement sur les locomotives, il ne faut pas se préoccuper outre mesure de la perte du travail qui résulte d'une chute de pression modérée subie par la vapeur en passant du cylindre de haute pression dans le réservoir intermédiaire. C'est ainsi que la liaison permanente des distributions qui a avantage d'éviter toute complication du mécanisme est très acceptable lorsque le rapport des volumes des cylindres est égal ou supérieur à 2,2, chiffre indiqué par la pratique. La chute de pression, qui se produit au réservoir dans ces conditions, et d'une façon d'autant plus marquée que l'admission commune est plus longue, n'est jamais de nature à compromettre l'économie du système.

Soient maintenant :

v et V les volumes initial et final de la vapeur.

m l'expansion qui serait réalisée sans chute de pression.

v_1 et v_2 les volumes avant et après une certaine chute de pression qui a lieu sans production de travail externe.

m' l'expansion totale réelle.

On a, d'après la figure ci-dessus : $m' = \frac{v_1}{v} \times \frac{V}{v_2}$,

mais $\frac{V}{v} = m$, et $\frac{v_1}{v_2} = \frac{h_2}{h_1}$ d'où, en substituant :

$$m' = m\,\frac{h_2}{h_1}$$

Ainsi, lorsqu'il existe une chute de pression au réservoir, sans production de travail, l'expansion réelle totale est égale à l'expansion réalisable au cas où la chute nuisible serait nulle multipliée par le rapport de la plus petite à la plus grande des pressions qui limitent cette chute. Dans l'exemple ci-dessus, un excès de chute de pression de $\frac{1}{2}$ *kg* donnerait donc une expansion réelle égale à $4{,}4 \times \frac{4{,}9}{5{,}4} = 4$ volumes environ.

Observations sur les phases de la distribution, dans la course rétrograde du piston de haute pression — Dans les locomotives compound, le travail négatif qui se produit sur le piston, pendant l'échappement normal et la compression, donne lieu à une observation importante. L'échappement normal des locomotives à simple expansion se fait à une pression très voisine de la pression atmos-

phérique, et sans accroissement jusqu'au point de la course où la fermeture définitive de la lumière détermine le commencement de la compression; dans le cylindre admetteur d'une locomotive compound, on constate au contraire, presque toujours, une augmentation d'autant plus grande que la pression du réservoir est plus élevée. Cet effet, dû à la difficulté de circulation de la vapeur, est tellement prononcé, lorsque l'orifice est très réduit, qu'il est impossible de saisir sur les diagrammes le moment où la lumière se ferme, et il existe, avant la compression *normale*, une période de compression *anticipée* qui cause une élévation de la pression finale généralement très notable et d'autant plus marquée que la vitesse du piston est elle-même plus grande.

Nous avons vu précédemment que la compression insuffisante dans les espaces nuisibles des locomotives à simple expansion était une cause de perte de chaleur; cet inconvénient n'existe plus dans les locomotives compound, mais une compression, au contraire trop grande, peut s'y manifester, et engendrer un travail négatif qui affaiblit la machine et s'oppose à une marche accélérée. C'est là, sans doute, une petite difficulté de l'application du principe compound aux locomotives, mais on peut l'éviter en choisissant une avance à l'admission un peu grande, un recouvrement intérieur des tiroirs nul ou même négatif, et des espaces neutres relativement plus grands que ceux des autres machines, de manière à modifier avantageusement le rapport des volumes initial et final de la vapeur soumise à la compression. L'augmentation de volume des espaces neutres est d'ailleurs la conséquence du choix des lumières à grande section nécessaires pour faciliter le dégagement de la vapeur d'échappement, et combattre la compression anticipée. Nous ajouterons qu'on peut, sans inconvénient au point de vue de l'utilisation de la détente, agrandir les espaces neutres du cylindre de haute pression, puisque l'expansion totale ne dépend que du poids de la vapeur qui s'en échappe à chaque coup de piston, et du volume du cylindre de basse pression. En augmentant l'espace neutre, on relève un peu, toutes choses égales, la pression au réservoir intermédiaire, de sorte qu'un même poids de vapeur admis dans le grand cylindre y occupe un volume plus petit; l'expansion, un peu moindre au premier cylindre, est augmentée au second.

Observation sur le point critique. — Lorsqu'on peut considérer la détente au premier cylindre comme ayant lieu jusqu'à la fin de

la course, *le point critique*, ou admission minima du second cylindre, est donné par le rapport $\frac{v}{V}$ des volumes des cylindres, mais en supposant que toute la vapeur du premier passe dans le second; or, pour une course 1, on retient dans le cylindre admetteur, pendant une fraction *c*, de cette course, la vapeur d'échappement nécessaire pour la compression. Le cylindre détendeur ne doit donc admettre qu'un volume $v\,(1-c)$, et l'admission minima serait seulement de $\frac{v\,(1-c)}{V}$; mais, en pratique, cette admission se trouve encore modifiée par la revaporisation à l'échappement du premier cylindre, la condensation au réservoir intermédiaire et la condensation à l'admission au second cylindre, qui tendent, la première à l'augmenter, les deux autres à la diminuer, et finalement, on ne saurait fixer théoriquement d'une manière précise l'admission au grand cylindre qui donne lieu à une chute de pression presque nulle au réservoir, et dont la durée varie d'ailleurs avec l'étendue de la compression au petit cylindre. Toutefois on peut dire que cette admission est une fraction de la course inférieure au rapport $\frac{v}{V}$ qui ne tient pas compte de la vapeur nécessaire pour la compression dans les espaces neutres, ni des phénomènes dont il vient d'être question.

Nécessité des expériences. — Pour l'étude des diverses questions que nous venons d'examiner, les données expérimentales doivent être considérées comme l'auxiliaire indispensable de la théorie Parmi les expériences provoquées par l'apparition des locomotives compound, celles qui sont dues à notre collègue M. Borodine, Ingénieur en chef du matériel et de la traction aux chemins de fer Sud-Ouest russes, présentent par l'ensemble des sujets qu'elles embrassent, et la multiplicité de leurs résultats, une importance de premier ordre.

Qu'il nous soit d'ailleurs permis, tout en nous associant au vœu exprimé par M. Borodine en terminant son étude, de faire remarquer que les expériences d'atelier, inaugurées si heureusement sous sa direction, et si utiles à certains points de vue, ne semblent pas pouvoir suppléer d'une manière complète aux expériences en service, lors même qu'on disposerait d'un outillage très puissant et de ressources illimitées. En marche, et surtout à grande vitesse, le refroidissement par l'atmosphère, l'influence de la suspension sur la distribution et celle des mouvements anormaux

sur le rendement de la machine, l'état tumultueux de l'eau dans la chaudière, font que la locomotive peut fournir des résultats assez différents de ceux de la machine d'atelier, et que les deux séries d'essais sont également nécessaires.

Les expériences de traction présentent, il est vrai, de sérieuses difficultés que font très bien ressortir les essais exécutés sur la ligne de Kieff à Fastoff, sous la direction de M. Lœvy ingénieur adjoint à l'Ingénieur en chef. Quant aux belles expériences calorimétriques de l'atelier de Kieff, elles renferment tout un programme, et elles puisent un nouvel intérêt dans l'impartialité évidente avec laquelle les résultats en ont été présentés. L'un des faits qu'elles ont démontré est la difficulté de circulation de la vapeur à haute pression, sur laquelle nous avons cru devoir insister plus haut. Il y a entre les diagrammes de la locomotive A^7 des chemins de fer Sud-Ouest russes, et la locomotive N° 701 de la Compagnie du Nord français, une grande analogie relativement à l'élévation de la pression dans les cylindres admetteurs, pendant l'échappement normal ; et, bien que le mémoire ne mentionne pas de compression anticipée, cet effet semble, d'après la forme des courbes, devoir être très réel sur la locomotive A^7.

Indicateur double de la Compagnie du Nord. — Il est intéressant, dans les expériences faites sur les locomotives compound de pouvoir relever les diagrammes des cylindres de haute et de basse pression au même instant. Ce résultat est obtenu par un seul opérateur, à l'aide de l'indicateur double construit en 1887 aux ateliers de la Compagnie du chemin de fer du Nord, d'après le principe de l'indicateur de MM. Marcel Deprez et Paul Garnier, qui est en usage à cette Compagnie depuis 1877, et dont la description détaillée a été faite dans les *Annales industrielles* (1). Cet appareil annule les effets de l'inertie ou du *lancer* du piston, en ne permettant à ce dernier qu'un très faible déplacement, de manière à marquer un point sur le papier, au moment où la tension de la vapeur correspond à celle qu'on a donnée au ressort, à la main ; on obtient ainsi deux points au plus du diagramme par tour de roues, et 10 à 15 tours sont nécessaires pour figurer la courbe complète. Il est d'ailleurs facile d'éviter les changements de pression initiale ou d'admission, pendant un temps aussi court ; et les diagrammes qui représentent très exactement le travail indiqué, ont l'avantage de donner, sans erreur possible, la pression de la

(1) Livraison du 26 mai 1872.

vapeur dans le cylindre pour une position quelconque du piston.

L'indicateur double, dont le dessin est joint à ce mémoire, est formé par la juxtaposition de deux indicateurs simples, et il présente quelques dispositions particulières. Sur chaque appareil, la tubulure *t* sert à l'arrivée de la vapeur sous le piston ; le chapeau du tube, renfermant le cylindre et le ressort, sert de point d'appui à ce dernier qui peut être comprimé, à volonté, par la pression d'un coulisseau *a*, bien guidé. Les deux coulisseaux sont entraînés par une vis unique *v*, à écrou fixe, tournant sous l'action des pignons *p*, dont l'un calé sur l'axe A est commandé par une manivelle. Chaque coulisseau *a* sert de butée, soit à l'arrêt *b* que porte la tige du piston, soit à l'attache inférieure *c* du ressort, suivant que la tension de la vapeur est croissante ou décroissante. Les deux porte-crayons sont articulés aux extrémités des tiges des pistons de l'indicateur, pour laisser aux ressorts la faculté de tourner autour de leur axe en se comprimant ; une manette unique *m* permet d'appliquer ou d'éloigner en même temps les deux crayons qui sont guidés sans frottement entre les branches d'une fourchette. Les talons des coulisseaux *a* sont reliés à la traverse *d* que conduit la vis, par des goujons filetés *e*, avec écrou et contre-écrou, disposition permettant de donner, de prime abord, des tensions différentes aux ressorts. On peut ainsi partir de zéro pour la pression effective dans le cylindre détendeur, en même temps que pour le cylindre admetteur on part d'une pression qu'on a choisie peu inférieure à celle qui existe dans le réservoir intermédiaire, après avoir tracé la ligne atmosphérique à l'aide d'un crayon fixe supplémentaire *f*. Enfin, en séparant complètement les goujons *e* des coulisseaux, et en faisant faire à la vis $\frac{1}{4}$ de tour, on peut rendre aux ressorts leur liberté, et donner à l'appareil la faculté de relever, comme le font les autres indicateurs, le diagramme continu d'un double coup de piston direct et rétrograde, opération indispensable pour certaines expériences (planche 210, figures 5 à 8).

Les tubes porte-papier se placent sur des barillets *h*, au-dessous desquels se trouvent montés, sur les mêmes axes, deux autres barillets *i* contenant, comme les premiers des ressorts de rappel. Le mouvement des pistons de la machine est transmis aux barillets inférieurs qui peuvent, si on le veut, marcher constamment, et un double système d'enclenchement et de déclenchement permet d'entraîner ou de débrayer, en marche, les barillets supérieurs, au

moment de prendre les diagrammes. Ce mécanisme fonctionne très bien, et il est d'une grande commodité lorsque les coups de piston se succèdent rapidement (1).

Délimination des phases de la distribution. — Il est généralement très difficile, sinon impossible, de délimiter exactement les phases de la distribution, à la seule inspection des diagrammes, et pourtant il est nécessaire de fixer, d'une manière précise, le commencement et la fin de la détente, ainsi que le commencement de la compression, lorsqu'on veut calculer le poids de la vapeur présente au cylindre aux divers points de la course. Le relevé à froid de la distribution, fait avec le plus grand soin, peut fournir des indications inexactes (et nous ne parlons pas seulement du cas où le changement de marche étant fixé sur la boîte à feu, la dilatation de la chaudière apporte aux déplacements du tiroir des changements qu'il est d'ailleurs impossible de prévoir d'une manière certaine, à cause des dilatations de pièces, et probablement aussi de leur flexion résultant de la pression supportée par le tiroir). Le moyen le plus sûr de délimiter les phases de la distribution consiste à prendre des diagrammes au démarrage, en maintenant une vitesse très faible, et après quelques tours de roues durant lesquels on purge les cylindres.

La difficulté que nous venons de signaler rend très délicats les calculs de poids de vapeur, qui, cependant, sont indispensables pour étudier les phénomènes de condensation et de vaporisation dus à l'influence des parois.

III. — Parallèle entre les locomotives compound et les locomotives simples, au double point de vue des consommations et de la puissance.

Consommation de charbon. — Les expériences faites sur les locomotives compound, qui aujourd'hui se rencontrent un peu partout, ont indiqué une économie de combustible rarement inférieure à 15 0/0, et qui a atteint et même parfois dépassé 20 0/0. Nous ferons connaître plus loin les résultats moins avantageux, mais cependant très intéressants obtenus sur une machine de ce système, en service depuis trois ans sur le réseau de la

(1) Cette disposition de barillets est imitée de celle que M. Napoli a employée sur un appareil d'étude ayant pour objet de relever 4 diagrammes simultanés en se servant de contacts électriques, et qui fut construit par M. Carpentier, d'après ses indications et celles de M. Marcel Deprez.

Compagnie du Nord, et nous nous bornerons ici à présenter quelques observations sur la manière d'évaluer cette économie, estimant qu'elle ne doit plus être négligée à aucun degré, même dans une grande Compagnie, lorsqu'elle n'est pas compensée par des inconvénients sérieux.

La consommation de charbon d'une locomotive quelconque dépend de bien des circonstances, dont certaines sont inhérentes à la machine elle-même. Cette consommation est liée à la fois au rendement de la chaudière et à celui du moteur ; aussi, dans une série de machines identiques en apparence, peut-il exister sous ce rapport, et même en dehors de l'état d'usure ou d'entretien, des différences sensibles de l'une à l'autre. Toutefois, avec quelques précautions, il est facile de se mettre à l'abri des causes d'erreur de ce côté.

D'autre part, une locomotive compound doit, pour pouvoir être comparée équitablement avec des locomotives simples faisant le même service, remplir certaines conditions qui ont été signalées par M. Mallet à propos des expériences de M. Borodine.

Enfin, l'habileté du mécanicien et celle du chauffeur ont, de toute évidence, une influence très grande sur la consommation de charbon ; il suffit, pour le constater, de voir entre quelles limites étendues varient les consommations kilométriques déduites mensuellement du service auquel sont affectées les machines semblables, en nombre souvent assez considérable.

Pour déterminer l'économie de charbon de la locomotive compound à grande vitesse n° 701 de la Compagnie du Nord, on a comparé, chaque mois, cette machine avec la locomotive ordinaire faisant le même service et venant immédiatement après elle sur le tableau des consommations, abstraction faite du personnel de cette dernière et de son numéro. Cette méthode est des plus rigoureuses et défavorable pour la machine compound, le système de machine se trouvant avoir beaucoup plus d'influence que le personnel sur le résultat final. Dans le cas où on compare la consommation de la locomotive compound avec la moyenne relevée pour les autres locomotives faisant le même service, l'économie beaucoup plus grande qu'on fait ressortir tient, au contraire, plus à la capacité du personnel qu'à la valeur de la machine, en admettant, cela va sans dire, que ce personnel soit choisi.

On ne peut donc guère trouver, lorsqu'il s'agit d'une seule locomotive, un système précis d'évaluation de l'économie, en pre-

nant pour base les données du service courant, et mieux vaut recourir à des expériences spéciales, estimer, par exemple, la dépense de charbon par tonne kilomètre transportée dans des conditions identiques, et en se rendant compte, autant que possible, de l'utilisation du combustible sur la grille.

Consommations d'eau et de graissage. — L'économie d'eau, qui dépend presque exclusivement de l'utilisation de la vapeur dans les cylindres, est plus difficile à évaluer que celle du combustible, à cause des pertes de toutes sortes, en eau et en vapeur, et aussi parce que la comparaison de la quantité d'eau introduite dans la chaudière au travail produit, nécessite des mesures dont l'exactitude est souvent douteuse. D'après les résultats obtenus jusqu'ici, l'économie d'eau paraît être proportionnellement moins grande que celle de combustible, et, comme l'a fait remarquer M. Mallet, cela s'explique par une meilleure utilisation de ce dernier, le feu n'ayant pas besoin d'être poussé aussi activement.

En ce qui concerne le graissage, il ne semble pas y avoir d'économie à attendre ; mais un surcroît de consommation des locomotives compound n'est à craindre que pour celles portant plus de deux cylindres, et nous pensons que la question du graissage est, dans les cas les plus défavorables, de peu d'importance auprès des autres. Au surplus, celle des économies de charbon et d'eau n'est pas elle-même, à beaucoup près, comme nous le verrons par la suite, la seule conséquence remarquable du fonctionnement compound sur les locomotives.

De la puissance. — La puissance effective d'une locomotive, ou, en termes plus précis, l'expression de son travail, a pour mesure le produit de l'effort de traction utilisé à la barre d'attelage, par la vitesse de translation, et suivant que ce second facteur est très faible, comme au démarrage, ou élevé comme en pleine marche, la puissance se présente sous des aspects très différents. Nous nous occuperons d'abord du second cas.

Puissance en pleine marche. — On sait que l'adhérence, lorsqu'elle est suffisante pendant la période d'accélération qui constitue le démarrage, l'est à plus forte raison en marche, où le travail de la machine consiste à surmonter avec une certaine vitesse acquise, les résistances de la voie et autres, qui nécessitent un effort de traction inférieur à celui de la mise en marche. La vitesse qu'on peut obtenir, toutes choses égales d'ailleurs, devient alors

le facteur important du travail, et dépend elle-même, jusqu'à une limite très reculée de la quantité de vapeur que peut fournir la chaudière. En d'autres termes, lorsqu'on demande à une locomotive en pleine marche tout ce qu'elle peut donner d'une manière soutenue, c'est, à moins de circonstances exceptionnelles, à la production de vapeur qu'on fait allusion. Cette production peut, momentanément, être poussée bien au delà de sa valeur normale, mais au grand détriment de la conservation de la chaudière et de la bonne utilisation du combustible. Or, si, comme nous l'admettons, le feu est conduit de manière à ne déterminer ni arrachements sur la grille ou entraînements prononcés dans la boîte à fumée, ni ébranlements ou usure rapide de la tubulure, ni contre-pression exagérée dans les cylindres, il faut reconnaître que, malgré les nombreux et importants perfectionnements réalisés sur la chaudière tubulaire, ce trait de génie, la vaporisation semble bien près d'avoir atteint sur les locomotives le maximum que peut donner une qualité déterminée de charbon.

Nous ajouterons que les exigences actuelles du service des trains lourds ou marchant à de très grandes vitesses, donnent à cette production des chaudières une importance de premier ordre, et que d'autre part il est utile, pour le bien-être des voyageurs, d'obtenir, sans grandes irrégularités, la vitesse prévue par l'itinéraire, ce qui conduit à franchir les rampes aussi rapidement que possible ; cela devient tout à fait nécessaire s'il s'agit d'augmenter les vitesses commerciales admises aujourd'hui, sans dépasser sur les pentes la limite que commande la prudence. Pour ces motifs, il y a intérêt à adopter comme règle cette simple formule : *monter vite* (1) ; c'est à

(1) C'est précisément cette règle qui est appliquée en Angleterre où, en augmentant peu à peu les vitesses, on a atteint des résultats qu'il est utile de signaler. Les services extrêmement rapides réalisés au mois d'août 1888, sur trois lignes rivales, entre Londres et Edimbourg, ont fait ressortir des conditions de marche très remarquables. La *Revue générale des Chemins de fer*, qui a rendu compte de cette lutte de vitesse et de ses conséquences dans son numéro de janvier 1889, renferme sur ce point des renseignements précis des plus intéressants *(Note sur le service des trains rapides entre Londres et Edimbourg, par M. E. Sauvage, ingénieur principal des Ateliers des machines de la Compagnie du Nord).* Le fait essentiel à retenir est qu'en Angleterre, la vitesse de 115 *km* à l'heure est souvent atteinte sur les faibles rampes par un grand nombre de trains express, et que sur la ligne de l'Est partant de la gare de King's Cross, la vitesse moyenne de marche a atteint. le 30 août, le chiffre très élevé de 93 *km* sur un profil assez facile, mais comportant cependant des rampes de 5 *mm*. La traction était faite successivement par quatre locomotives changées à chaque arrêt, et qui sont, soit du type ordinaire, soit du type de M. T. W. Worsdell, ingénieur en chef du Matériel du North Eastern Railway.

Diverses conditions doivent être remplies pour obtenir une vitesse aussi grande ; pour ne signaler que la production de vapeur, nous ferons observer que si, dans ce cas, les locomotives ordinaires peuvent suffire à une dépense notablement plus élevée que celle des locomotives compound, cela tient à l'excellente qualité du charbon. D'après M. Worsdell, les premières ont brûlé, pendant le mois d'août, 8,85 *kg* par kilomètre, et les compound 7,05 *kg* seulement. La question d'économie subsiste ; celle d'une vaporisation suffisante est hors de cause.

obtenir un plus grand travail d'un poids donné de vapeur que revient cette question, et nous touchons ici à un point très caractéristique du fonctionnement compound sur les locomotives : l'économie de vapeur. On se borne souvent à apprécier ce fonctionnement d'après la réduction plus ou moins prononcée obtenue dans la consommation de charbon et d'eau, ou du moins c'est le seul point qui ressorte nettement des expériences auxquelles on soumet les machines en service ; or, il ne se trouve, dans la vapeur utilisée d'une manière économique pour la marche, qu'une portion assez réduite de la quantité totale de la chaleur développée dans le foyer, l'autre portion se trouvant ou perdue, ou utilisée d'une autre manière ; aussi l'économie de vapeur, qui n'est aucunement proportionnelle à celle de combustible rapportée, comme on le fait, à la consommation totale de la machine, doit-elle être envisagée spécialement au point de vue de l'accroissement de puissance qu'elle peut procurer. La locomotive, qui déjà proportionne si heureusement d'elle-même, par la vigueur de l'échappement, l'importance de la vaporisation à celle du travail à réaliser, acquiert, lorsqu'elle est compound, cette nouvelle et précieuse qualité de la dépenser avec parcimonie dans les cas où il devient difficile de la produire en quantité suffisante.

Il faudrait, pour établir, au point de vue de la dépense de vapeur, une comparaison entre deux locomotives du même type, l'une simple, et l'autre compound, déterminer, dans les mêmes conditions de marche, leurs consommations par cheval et par heure, comme on le fait pour les machines fixes ; mais s'il est possible d'évaluer assez exactement, à l'aide des diagrammes, le travail recueilli sur les pistons, l'autre élément du calcul, la dépense réelle de vapeur, fait défaut, et c'est là certainement un des problèmes les plus intéressants et les plus complexes qui puissent être proposés. L'important mémoire de M. Borodine renferme des résultats relatifs à la consommation d'eau en marche, bien distincte de celle de vapeur dépensée dans les cylindres, et il montre la supériorité des machines compound. Tandis que pour la locomotive ordinaire, on a trouvé une dépense d'eau de 14 *kg* environ par cheval et par heure, la locomotive compound a dépensé 11 *kg* seulement.

L'économie de vapeur, qui équivaut à un accroissement possible du travail en pleine marche, procure donc une augmentation d'élasticité de puissance, acquise en dehors de celle qu'on peut obtenir par l'admission directe de la vapeur de la chaudière dans

le grand cylindre. Cette admission directe est surtout utile au démarrage ; en dehors du cas d'une pression momentanément insuffisante, dans la chaudière, le fonctionnement compound nous semble devoir être établi de manière à pouvoir toujours produire en cours de route l'effort de traction assigné à la machine.

Effort théorique de traction. — Après avoir examiné la puissance des locomotives sous le rapport de leur production de vapeur, nous devons aussi l'envisager au point de vue de l'effort de traction qu'elles développent, soit en marche, soit surtout au démarrage.

Rappelons d'abord l'équation théorique de la locomotive : $F = \frac{P d^2 l}{D}$ dans laquelle on désigne par :

F l'effort de traction, en *kg*.
P la pression effective dans la chaudière, en *kg* par cm^2.
d le diamètre des pistons, en centimètres.
l la course des pistons, en centimètres.
D le diamètre des roues motrices, en centimètres.

L'effort pratique est $F_1 = KF$, K étant un coefficient dont il importe de préciser la signification.

On peut considérer successivement la machine en marche ou au démarrage. En pleine marche, l'expression ci-dessus étant mise sous la forme : $F_1 = K P \times \frac{d^2 l}{D}$, donne l'effort moyen de traction *évalué sur les pistons*, le coefficient K tenant compte à la fois de la chute de pression de la chaudière aux cylindres, et de l'application de la détente dans les limites habituelles (1) ; on lui attribue généralement la valeur de 0,65.

Effort pratique de traction à très faible vitesse. — En second lieu, au démarrage, la pression dans les cylindres est sensiblement égale à celle de la chaudière, pendant l'admission, mais celle-ci ne pouvant avoir lieu pendant la course entière, la pression moyenne d'un coup de piston est un peu inférieure à P et pour évaluer l'effort de traction à la barre d'attelage de la machine, il faut de plus tenir compte des résistances passives qui sont, d'une part celles du mécanisme sous pression, et de l'autre, les résistances de toutes sortes que la machine considérée comme véhicule doit

(1) Voir, matériel roulant exploitation technique des Chemins de fer par M. Couche, vol. 2, p. 255.

surmonter. On est donc conduit à appliquer à l'effort théorique F un coefficient de réduction K′ que l'on prend ordinairement égal à 0,60 pour les locomotives à marchandises ayant 3 ou 4 essieux couplés, et à 0,70 pour les locomotives à voyageurs.

On admet souvent d'une manière générale un coefficient moyen de 0,65 qu'il ne faut pas confondre avec celui de même valeur dont il a été question plus haut, et dont l'application est toute différente.

Les coefficients que nous venons d'indiquer paraissent faibles, eu égard au degré de perfection auquel on est parvenu dans la construction des locomotives et dans leur entretien. Les diagrammes relevés au démarrage avec la marche à fond de course montrent que la pression moyenne effective sur les pistons peut être évaluée aux $\frac{9}{10}$ de la pression de la chaudière, le déficit inévitable de 10 0/0 environ étant dû à une faible détente, à l'échappement anticipé, à la compression et à la contre-vapeur. Entre l'effort total calculé d'après cette pression moyenne, et l'effort de traction recueilli sur la barre d'attelage de la machine, il existe un écart résultant, comme nous l'avons dit, des résistances passives du mécanisme sous pression, et de celles du véhicule. L'effet utile du mécanisme, qui dans toutes les machines à vapeur croît avec la puissance indiquée est élevé dans les locomotives lorsqu'elles développent un grand effort de traction, mais il est indépendant de leur poids qui peut varier pour une même force du moteur; il ne doit donc être évalué que proportionnellement à cette force, et sa valeur paraît être de 85 0/0 au minimum, de sorte que l'effort de traction à la circonférence des roues motrices pourrait être estimé à $0{,}90 \times 0{,}85$ ou environ 77 0/0 de l'effort qui se déduit du travail indiqué.

Quant à la résistance du véhicule, elle n'est, d'une manière générale, proportionnelle au poids de la locomotive, que pour des machines du même type offrant de grandes analogies de construction, et il existe encore à ce point de vue, comme à celui du rendement du moteur, beaucoup d'incertitude malgré des expériences multiplées qu'il est inutile de rappeler. Le nombre des essieux couplés et le diamètre des roues ne sont certainement pas sans influence, mais pour les locomotives à voyageurs à roues libres ou à deux essieux couplés, la résistance par tonne de véhicule ne semble pas devoir être supérieure à 4 ou 5 *kg* lorsque la vitesse est très faible, soit au total moins de 200 *kg* pour un poids

de 40 *t*. Cette résistance représentant approximativement 3 0/0 de l'effort développé sur les pistons, le coefficient K' semble pouvoir être estimé à 0,72 ou 0,74, pour la catégorie des locomotives à voyageurs, puissantes et relativement peu lourdes (1).

Ceci étant établi, nous revenons à la comparaison, au démarrage, des locomotives compound avec les locomotives ordinaires. Lorsque les premières sont disposées pour admettre la vapeur vive directement au grand cylindre, soit à pleine pression, soit à une pression limitée par un détendeur, en même temps que l'échappement du petit cylindre a lieu dans l'atmosphère, l'évaluation de l'effort maximum de traction se fait de la même manière que pour une locomotive simple, en tenant compte de ces circonstances particulières de marche; mais, s'il est utile de recourir, tout d'abord, à cette admission directe, il faut, lorsqu'on revient, après quelques tours de roues, au fonctionnement compound, pouvoir recueillir sur les pistons un travail comparable à celui que donnerait une locomotive à simple expansion faisant le même service. Il importe donc de chercher quelle serait, pour la locomotive compound, l'équation équivalente à $F = \frac{P d^2 l}{D}$ qui exprime l'effort de traction maximum théorique des autres machines.

Il suffit de se reporter aux caractères essentiels du fonctionnement compound que nous avons rappelés, pour reconnaître que le plus grand effort de traction serait donné par le travail d'un volume de vapeur égal à celui du petit cylindre et possédant la pression effective P, introduit à pleine pression dans le grand cylindre, puis détendu jusqu'à fin de course, ce qui reviendrait à supprimer le petit cylindre. Mais pour conserver le principe compound, il faut évaluer le travail de chacun des cylindres, avec cette condition d'avoir dans le réservoir intermédiaire une pression déterminée.

(1) On voit par cet aperçu que l'indétermination du coefficient K' réside surtout dans l'impossibilité où l'on se trouve de lui donner une valeur unique. Il n'est d'ailleurs pas rationnel de considérer les résistances propres des organes moteurs comme proportionnelles au poids de la machine. Pour éviter toute confusion, le mieux serait de faire dépendre la valeur du coefficient de rendement d'une locomotive, de ses conditions particulières d'établissement. Un coefficient moyen, commode sans doute, ne peut être que d'une approximation très grossière.

EFFORT MAXIMUM THÉORIQUE DE TRACTION DES LOCOMOTIVES COMPOUND

Soient :

d et d' les diamètres du petit et du grand cylindre,

l la course commune des pistons,

v et V les volumes du petit et du grand cylindre,

D le diamètre des roues motrices,

H la pression *absolue* dans la chaudière,

h la pression absolue au réservoir intermédiaire,

F et F′ les efforts de traction de l'un et l'autre cylindre, évalués sur les pistons.

Le travail total maximum de la machine est évidemment donné par la plus grande admission au premier cylindre. En négligeant la courte période de détente et l'avance à l'échappement, comme on le fait pour les locomotives simples, on a de suite l'effort de traction ci-après, pour l'unique cylindre de haute pression :

$$[1] \qquad F = \frac{(H - h)\, d^2\, l}{2\, D}.$$

Pour une admission totale au petit cylindre, l'admission a' au grand cylindre, exprimée en fraction de la course, est liée à la pression h au réservoir par la relation :

$$[2] \qquad a'\, V\, h = v\, H.$$

Au grand cylindre, la contre-pression étant 1, le travail d'un coup de piston a pour valeur :

$$[3] \qquad \frac{1}{4} \pi\, d'^2 + a'\, l\, h \left(1 + \text{log. nat.} \frac{1}{a'} - \frac{1}{h} \times \frac{1}{a'}\right) \text{(1)}$$

et pour obtenir le travail d'un tour de roues, il faut multiplier cette quantité par 2 ; mais ce travail est aussi exprimé, à la cir-

(1) La pression h au réservoir intermédiaire n'a au point de vue théorique, d'autre limite supérieure que H, mais en réalité on est obligé de se tenir assez loin de cette limite, notamment pour éviter une compression exagérée au petit cylindre ; il s'ensuit qu'en pratique $\frac{h}{H}$ n'est pas très différent de sa limite inférieure $\frac{v}{V}$, d'où l'on voit d'après l'équation [2] que a' diffère peu de l'unité. C'est à cause de cette grande valeur de l'admission au cylindre détendeur, admission nécessaire lorsque ce cylindre reçoit la vapeur pendant la course à peu près entière, qu'il est permis, dans l'expression [3] de se reporter au diagramme théorique, et de négliger le travail négatif très peu important dû à la compression dans le grand cylindre, comme nous l'avons fait pour le petit cylindre.

conférence des roues motrices, par π D F′, et de l'égalité des deux expressions, on déduit :

$$F' = \frac{d'^2 a' l h}{2 D}\left(1 + \text{log. nat. } \frac{1}{a'} - \frac{1}{a' h}\right)$$

ou en remplaçant $a' h$ par sa valeur tirée de l'équation [2]

$$F' = \frac{H d'^2 l}{2 D} \times \frac{v}{V}\left(1 + \text{log. nat. } \frac{V h}{v H} - \frac{V}{v H}\right)$$

or $\frac{v}{V} = \frac{d^2}{d'^2}$; en faisant la substitution, et en désignant par r le rapport $\frac{V}{v}$, il vient :

[4] $$F' = \frac{H d^2 l}{2 D}\left(1 + \text{log. nat. } \frac{r h}{H} - \frac{r}{H}\right).$$

L'effort total théorique évalué sur les pistons de la locomotive compound est F + F′; nous le désignons par F_p, et nous aurons :

[5] $$F_p = \frac{H d^2 l}{2 D}\left(2 + 2,3026 \text{ log. } \frac{r h}{H} - \frac{r + h}{H}\right).$$

Cette formule s'applique au cas particulier où les volumes des cylindres de haute et de basse pression seraient égaux. Le second ne pourrait débiter la vapeur sortant du premier qu'à la condition d'admettre pendant toute la course, ce qui revient à supposer $V = v$, $r = 1$, $a = 1$. La formule [2] donne alors $h = H$, et la formule [5] devient :

$$F_p = \frac{(H - 1) d^2 l}{2 D} = \frac{P d^2 l}{2 D},$$

P étant la pression effective dans la chaudière.

On pouvait prévoir ce résultat, puisque le travail du cylindre admetteur se trouvant annulé, la formule exprime l'effort relatif à un seul cylindre d'une locomotive, sans détente de la vapeur. Nous avons fait remarquer que h peut varier entre certaines limites et qu'il n'y a pas lieu de s'occuper de sa valeur maxima H; quant à la valeur minima, elle est obtenue avec $a' = 1$ et $v H = V h$ d'où $h = H \times \frac{v}{V} = \frac{H}{r}$ (1).

(1) En supposant $v H = V h$, on ne tient pas compte de la vapeur empruntée au réservoir au commencement de l'admission au grand cylindre, pour comprimer celle de l'espace nuisible; elle est négligeable dans ce calcul. La valeur ci-dessus de h est la tension absolue au-dessous de la laquelle la soupape du réservoir intermédiaire, s'il y en a une, ne pourrait être réglée sans laisser perdre de la vapeur dans le cas de l'admission totale au cylindre de haute pression.

Cette hypothèse, $h = \frac{H}{r}$ conduit à la formule suivante indiquant le *minimum* de puissance de la locomotive marchant en compound avec l'admission maxima au cylindre de haute pression :

[6] $$F_p = \frac{H\, d^2\, l}{2\ D}\left(2 - \frac{r^2 + H}{r\, H}\right).$$

La formule [6] peut être considérée comme remplaçant pour une locomotive compound à un seul cylindre admetteur, de diamètre d l'équation $F = \frac{P\, d^2\, l}{D}$, qui donne l'effort maximum théorique de traction d'une locomotive à simple expansion. La locomotive compound pourrait développer un effort plus grand, qui serait calculé à l'aide de la formule [5], mais à cette double condition d'avoir une pression supérieure à $\frac{H}{r}$ dans le réservoir intermédiaire, et de ne pas cependant la pousser assez loin pour donner lieu, dans le cylindre de haute pression, à une contre-pression nuisible à la puissance et au roulement.

Discussion de l'équation [6]. — Cette formule, dans laquelle $H = P + 1$, montre tout d'abord que l'effort de traction n'est pas proportionnel à la pression effective dans la chaudière, même lorsqu'il n'y a détente ni dans un cylindre ni dans l'autre ; mais on ne voit pas nettement, *a priori*, l'influence de la variation de pression. Nous reviendrons sur ce point, et supposant d'abord une pression H déterminée, nous allons chercher comment varie l'effort total F_p avec le rapport r du volume des cylindres, rapport dont les limites sont connues.

La limite inférieure de r est 1, parce que le cylindre détendeur doit être au moins égal au cylindre admetteur. La formule [6] donne alors :

$$F_p = \frac{H\, d^2\, l}{2\ D}\left(2 - \frac{H + 1}{H}\right) = \frac{(H - 1)\, d^2\, l}{2\ D} = \frac{P\, d^2\, l}{2\ D}$$

valeur déjà trouvée avec la formule [5] et signifiant qu'on revient au cas de la locomotive simple, en annulant le premier cylindre dans lequel la vapeur existe à la pression de la chaudière sur les deux faces du piston.

La pression absolue h au réservoir intermédiaire ou, ce qui revient au même, dans le grand cylindre, ne peut être inférieure à

la contre-pression atmosphérique qui est 1, et, si on fait $h = 1$ dans l'expression $r = \frac{H}{h}$, on a $r = H$; tel est, au point de vue purement théorique, le maximum de r, qui donne au terme $\frac{r^2 + H}{r H}$ de l'équation [6] la même valeur $\frac{H + 1}{H}$ que précédemment, et en conséquence, on a encore $F_p = \frac{P d^2 l}{2 D}$, mais dans ce cas, c'est le cylindre détendeur qui est annulé ; d'ailleurs l'hypothèse $h = 1$ indique bien que le cylindre de haute pression échappe dans l'atmosphère.

Entre $r = 1$ et $r = H$, se trouve une valeur de ce rapport pour laquelle la fonction $\frac{r^2 + H}{r H}$ est minima ; on l'obtient en annulant la dérivée de cette fonction, ce qui donne :

$$\frac{r H \times 2 r - (r^2 + H) H}{r^2 H^2} = 0$$

d'où l'on tire : $r = \sqrt{H}$.

Ainsi, pour une pression donnée, ce rapport du volume des cylindres donne à l'effort total F_p une valeur maxima. Si on suppose par exemple $H = 12$ *kg.*, on trouve $r = 3{,}5$ environ, rapport qu'il faudrait bien se garder de prendre pour une locomotive, mais dont la signification est qu'au point de vue de la puissance de démarrage de la machine marchant en compound, il y a intérêt à choisir un rapport de volumes un peu élevé, ou, ce qui revient au même, un volume un peu grand pour le cylindre détendeur.

Si, dans l'équation [6] on remplace H par sa valeur $P + 1$, on arrive, en isolant le facteur $\frac{P d^2 l}{2D}$ à l'expression suivante de l'effort total :

$$[7] \qquad F_p = \frac{P d^2 l}{2D}\left(2 - \frac{r}{P + 1} - \frac{1}{r}\right)\left(1 + \frac{1}{P}\right).$$

Le premier facteur est proportionnel à la pression effective de la chaudière mais, pour une valeur donnée de r, le second facteur est variable.

Formule de M. von Borries. — M. von Borries, Ingénieur en chef du matériel de l'État de Hanovre, qui a appliqué, d'une manière

très générale, le système compound aux locomotives de ces lignes a indiqué, pour exprimer l'effort maximum de traction évalué sur les pistons des locomotives à un seul cylindre détendeur la formule pratique :

$$F_p = 0{,}55 \frac{P\, d'^2\, l}{2\, D} \ (1)$$

qui se rapporte au cas où le rapport des volumes est sensiblement 2. Dans cette expression d' est le diamètre du grand cylindre, et les autres notations ont la même signification que ci-dessus.

Cette formule empirique très simple, admet la proportionnalité de l'effort à la pression effective de la chaudière ; elle est donc approximative, indépendamment de la valeur attribuée au coefficient numérique. Pour la comparer à la formule [7] ci-dessus, il faut d'abord remplacer dans cette dernière d^2 par sa valeur $\frac{d'^2}{2}$ ce qui donne :

[8] $$F'_p \doteq \frac{P\, d'^2\, l}{2\, D} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{P+1} - \frac{1}{r^2}\right) \left(1 + \frac{1}{P}\right)$$

puis attribuer à r la valeur 2, d'où :

$$F'_p = \frac{P\, d'^2\, l}{2\, D} \left(\frac{3}{4} - \frac{1}{P+1}\right) \left(1 + \frac{1}{P}\right)$$

ce qui peut s'écrire : $F_p = \alpha \frac{P\, d'^2\, l}{2\, D}$, α étant le coefficient variable $\left(\frac{3}{4} - \frac{1}{P+1}\right) \left(1 + \frac{1}{P}\right)$.

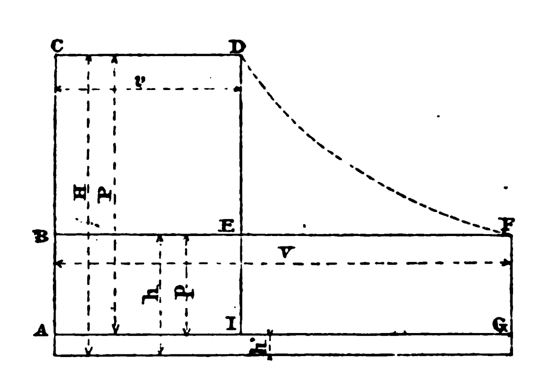
Si, pour discuter cette valeur, on suppose successivement $P = 0$ et $P = \infty$, on trouve que α prend les valeurs 0,50 et 0,75, et si on attribue à P les valeurs pratiques 10 *kg* et 15 *kg;* on a, dans le premier cas $\alpha = 0{,}72$ et, dans le second $\alpha = 0{,}735$. La différence très peu importante de ces coefficients est négligeable, puisqu'il y a incertitude sur la valeur pratique et qu'il convient de ne pas l'exagérer. En tous cas, le coefficient 0, 55 de la formule de M. von Borries estime sans doute trop bas la puissance de la machine, et il semble qu'on puisse prendre $\alpha = 0{,}70$ au minimum.

On voit par la formule [8] que pour une valeur donnée de la pression effective, le coefficient de $\frac{P\, d'^2\, l}{2\, D}$ varie en même temps

(1) Compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils, chronique de février 1882, d'après le *Zeitschrift des Vereines Deuscher Ingénieure*. — *Septembre 1880, p. 457.*

que le rapport du volume des cylindres ; il faudra donc, pour un rapport différent de 2 remplacer le coefficient 0,70 par la valeur que permettra de calculer l'expression : $\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{P+1} - \frac{1}{r^2}\right)\left(1 + \frac{1}{P}\right)$.

Mais si l'évaluation de l'effort est faite en fonction du diamètre d du petit cylindre, le coefficient de $\frac{P\,d^2\,l}{2\,D}$ ne varie guère pour des écarts peu importants de r par rapport à une valeur moyenne de 2,5 environ. On s'en rend compte assez facilement sur la figure ci-après, dans laquelle v et V représentent les volumes des cylindres, H et h les pressions absolues dans la chaudière et au réservoir.



Les travaux effectifs d'un volume v de vapeur introduite dans le petit cylindre à la pression H, et du volume V de la même vapeur introduite ensuite dans le grand cylindre à la pression h, sont respectivement représentés par les surfaces des rectangles BCDE et ABFG, h' étant la contre-pression atmosphérique. Mais la surface totale, qui représente la somme T de ces travaux, peut aussi être considérée comme formée par les deux rectangles ACDI et IEFG.

Donc : $T = v\,(H - h') + (V - v)\,(h - h')$.

Or, de $\frac{V}{v} = \frac{H}{h}$ on tire $V - v = v\left(\frac{H - h}{h}\right)$,

et si on désigne par P et p les pressions effectives on peut écrire :

$V - v = v\left(\frac{P - p}{p + h'}\right)$. Bien que h' ne soit pas négligeable devant p, on peut, pour la démonstration actuelle, faire cette hypothèse sans grande erreur, et supposer que $V - v = v\left(\frac{P - p}{p}\right)$. La valeur approximative de T serait alors :

$$[a] \qquad T = v\,(2\,P - p)$$

et pour exprimer le travail en fonction du volume du grand cylindre, il suffit de remplacer v par $\frac{V}{r}$, d'où :

[b] $$T = \frac{V}{r}(2\,P - p).$$

On voit que p étant petit par rapport à 2 P, une variation peu importante de p, résultant de la variation du rapport r des volumes des cylindres, n'influe pas beaucoup sur la valeur de T, tandis que le premier facteur, indépendant de ce rapport dans l'équation [a] lui est au contraire inversement proportionnel dans l'équation [b].

Effort maximum théorique exprimé en fonction du volume du petit cylindre.—Si donc on veut exprimer par une formule très simple, de la forme $F_p = K_1 \frac{P\,d^2\,l}{2D}$, l'effort maximum théorique de traction d'une locomotive compound, il convient de le faire en fonction du diamètre du petit cylindre, afin que le même coefficient numérique soit applicable pour une valeur quelconque de r. Lorsque P est compris entre 10 et 15 *kg*, et r entre 2 et 3, ce qui a presque toujours lieu dans les locomotives, on peut, avec une approximation suffisante, prendre $K_1 = 1{,}5$ (1) d'où :

[9] $$F_p = 0{,}75\,\frac{P\,d^2\,l}{D}.$$ (2)

Cette formule suppose un seul cylindre de haute pression. S'il y en avait deux, il faudrait doubler cette valeur.

En comparant l'expression ci-dessus avec l'équation $F = \frac{P\,d^2\,l}{D}$ des locomotives ordinaires on arrive à la conclusion suivante :

Une locomotive compound ayant un cylindre de haute pression de même volume que les cylindres d'une locomotive à simple expansion, et ayant en outre le même diamètre de roues motrices et la même pression dans la chaudière, développe au démarrage un effort de traction égal aux trois quarts de l'effort développé par cette dernière, en dépensant moitié moins de vapeur.

Cette conclusion fait ressortir à la fois l'avantage économique du principe compound et la nécessité de donner au cylindre admetteur d'une locomotive de ce système un volume supérieur

(1) Le coefficient $K' = 1{,}5$ correspond exactement à $P = 12^{kg}$, $r = 2{,}3$.

(2) De cette formule on déduit pour l'effort de traction à la circonférence des roues motrices, en appliquant le coefficient 0,77 :

$$F_p = 0{,}58\,\frac{P d^2 l}{D}.$$

ou tout au moins égal à celui des cylindres de la locomotive ordinaire à laquelle on doit la comparer (1). S'il y a égalité, des volumes l'infériorité de la machine compound au premier instant du démarrage se trouve corrigée par l'admission directe de la vapeur de la chaudière dans le grand cylindre.

Pour avoir le même effort de démarrage avec les deux machines, il faudrait que la locomotive compound eût une dépense de vapeur égale à $\frac{0,50}{0,75}$ ou 0,67 de celle de la locomotive simple, soit avec ces conditions spéciales de fonctionnement, une économie de 33 0/0 à l'avantage de la première, bien qu'il n'y ait de travail de détente ni dans l'une ni dans l'autre ; mais la seconde abandonne la vapeur dans l'atmosphère à la pression absolue H, tandis que l'échappement de la machine compound a lieu seulement à la pression $h = H \frac{v}{V}$. D'ailleurs, si on se reporte à la figure précédende, on voit, en traçant la courbe hyperbolique DF, que le volume v de vapeur peut fournir un travail total maximum, représenté par l'aire ACDFGA. Dans le cas où cette vapeur travaille sans détente dans un cylindre seulement, la perte est représentée par la surface DFGID, tandis qu'elle se réduit au triangle curviligne EDF si le travail est fourni dans deux cylindres successifs. En d'autres termes, si la vapeur passe de la pression H à la pression h sans avoir produit aucun travail mécanique, elle abandonne une certaine quantité de chaleur qui peut modifier avantageusement son état, et elle est susceptible de produire, à pleine pression, sous le volume V, un travail effectif représenté par le rectangle ABFG ; on perd celui qui est figuré par l'aire BCDFB ; si, au contraire, la vapeur qui occupait primitivement le volume v a fourni du travail mécanique avant de prendre le volume V, la perte est considérablement réduite, puisqu'on a d'abord recueilli un travail représenté par le rectangle BCDE. Nous rappellerons à ce propos ce que nous avons dit au sujet de la chute de pression au réservoir intermédiaire, à laquelle il convient d'attacher peu d'importance, si elle n'est pas exagérée.

L'emploi des cylindres successifs, qui a l'avantage d'atténuer les pertes par condensation intérieure, en divisant la chute totale de

(1) En appelant x le diamètre du cylindre de haute pression de la locomotive compound ayant le même effort de traction qu'une locomotive ordinaire à cylindres de diamètre d, les autres conditions d'établissement étant les mêmes, on aurait :

$$0,75\, x^2 = d^2 \text{ d'où } x = 1,15\, d.$$

C'est donc entre les valeurs d et 1,15 d que devrait être compris le diamètre du cylindre de haute pression.

température, possède donc aussi celui d'améliorer le travail de la vapeur sensible, même lorsque la détente est fort peu prolongée dans chaque cylindre. Ainsi s'explique l'utilité du cylindre admetteur des machines à triple et à quadruple expansion, où la vapeur est admise pendant la course presque entière.

Admission directe au réservoir intermédiaire. — Au premier moment du démarrage, l'effort de traction est réduit à celui que procure le cylindre admetteur, si le réservoir intermédiaire ne renferme pas déjà de la vapeur à une certaine pression. Cet effort, s'il n'est pas insuffisant pour mettre le train en marche, ne peut en tout cas fournir qu'un démarrage lent. Pour obtenir immédiatement une certaine pression au réservoir intermédiaire, on y envoie de la vapeur directement; on crée ainsi une contre-pression importante sur le piston du petit cylindre, à moins qu'on n'envoie dans l'atmosphère la vapeur d'échappement de ce dernier, ce qui ne laisse aucun doute sur la promptitude du démarrage, sans compliquer beaucoup le mécanisme de mise en marche. M. Mallet qui, dès l'origine, avait prévu l'importance de cet avantage, a toujours employé une disposition spéciale pouvant donner soit la marche en compound, soit la marche habituelle des locomotives, prolongées ou interrompues l'une et l'autre à la volonté du mécanicien. Sur ses premières machines, cette disposition consistait en un tiroir distributeur, et afin de ne pas exagérer, dans le cas de la marche en compound, la différence des efforts d'un cylindre à l'autre, un détendeur automatique, faisant partie intégrante du régulateur, limitait, à une valeur fixée à l'avance, la pression sur le grand piston. Ce tiroir distributeur a ensuite fait place à un système de soupapes différentielles plus simples d'installation et de fonctionnement, et remplissant le même objet.

Plus tard, M. Worsdell en Angleterre, et M. von Borries en Allemagne, ont employé et emploient encore la *starting* et l'*intercepting* valve dans le but de faciliter le démarrage au premier instant par une admission directe dans le grand cylindre, admission qui cesse d'elle-même après le premier coup de piston. Les systèmes assez variés qui sont basés sur ce principe présentent par opposition au minime avantage de l'automacité, le sérieux inconvénient de limiter l'effort de traction de la locomotive à celui qu'on peut obtenir avec le fonctionnement compound.

Dans les locomotives compound à deux cylindres, et pour l'admission franche de la vapeur de la chaudière dans le second,

l'échappement du premier à l'air libre est une nécessité, autrement le piston recevant la vapeur sur les deux faces serait annulé. Dans les locomotives à trois ou à quatre cylindres, l'échappement du ou des cylindres de haute pression dans l'atmosphère n'est pas indispensable, pourvu qu'avec le fonctionnement non compound on obtienne une puissance suffisante pour utiliser toute l'adhérence ; on est toutefois privé, alors, de cette ressource d'employer en cours de route, l'admission directe aux grands cylindres, au cas où, accidentellement, la pression baisserait beaucoup dans la chaudière.

En résumé, pour évaluer l'effort maximum de traction des locomotives compound, il faut tenir compte de leur mode de fonctionnement, en même temps que des conditions d'établissement. Lorsque la machine ne peut marcher qu'en compound, l'équation [6], ou approximativement, la formule [9], donnent l'effort maximum théorique pour la pleine admission aux cylindres de haute et de basse pression.

Lorsque la vapeur de la chaudière peut être admise directement au réservoir intermédiaire, en même temps qu'il y a échappement du petit cylindre dans l'atmosphère, deux cas sont à distinguer :

1° Avec une pression d'admission au grand cylindre limitée automatiquement, l'effort se calcule comme pour une locomotive ordinaire, en tenant compte des diamètres différents des pistons, et des pressions également différentes.

2° Si la vapeur est admise dans le grand cylindre à la pression de la chaudière, l'effort de traction évalué à la circonférence des roues motrices peut devenir supérieur à celui que l'adhérence permet d'utiliser ; ce n'est plus alors le travail des pistons qui le détermine, mais bien le coefficient d'adhérence, auquel il convient d'attribuer, dans ce cas, une valeur assez élevée, $\frac{1}{5}$ par exemple.

Effort maximum pratique de traction. — L'effort maximum à le barre d'attelage des locomotives compound semble devoir se déduire de l'effort théorique évalué sur les pistons comme on le calcule pour les locomotives ordinaires et d'après les considérations que nous avons rappelées plus haut. Il n'y a aucun doute à ce sujet lorsque le nombre des cylindres n'est pas augmenté. Dans le cas contraire, on pourrait craindre que le plus grand nombre d'organes en mouvement ne soit la cause d'une diminution de l'effet utile

du mécanisme. Si les cylindres sont dans le prolongement l'un de l'autre, c'est-à-dire disposés en *tandem*, l'augmentation des résistances passives se réduit au frottement des nouveaux pistons, qui est peu considérable, et si les mécanismes sont distincts, la diminution des efforts que supportent les pièces parait donner lieu à une compensation suffisante.

DE L'ACCOUPLEMENT

Parmi les avantages que présente le principe compound appliqué aux locomotives, on a fait valoir et mis en pratique la suppression de l'accouplement, qui, dans les machines ordinaires, joue un rôle important au point de vue de la puissance, lorsque l'adhérence des roues motrices seules est insuffisante. La division du moteur en deux groupes, qui peut se faire par l'emploi de trois ou de quatre cylindres, permet d'avoir deux essieux moteurs, mais la suppression des bielles d'accouplement dont on a peut-être exagéré les inconvénients, lorsqu'il n'y a que deux essieux accouplés et s'il s'agit de machines de grandes lignes, nous paraît devoir soulever quelques objections.

L'expérience montre qu'il n'est pas possible d'obtenir, d'une manière permanente, la répartition du travail entre les deux groupes moteurs proportionnellement aux poids adhérents ; aussi peut-il arriver que l'une des paires de roues n'utilise pas le travail qui lui est transmis et patine, pendant que l'autre a un excès d'adhérence. D'ailleurs, il est important de remarquer que le rôle des bielles d'accouplement n'est pas le même dans les locomotives compound et dans les locomotives simples. Dans celles-ci, les bielles transmettent constamment à l'essieu conjugué avec l'essieu moteur la totalité du travail qui lui incombe; dans celles-là, elles doivent simplement parer aux différences qui se manifestent d'une manière trop accentuée entre les travaux de haute et de basse pression.

REMARQUES SUR LE NOMBRE DES CYLINDRES

La simplicité de construction et d'entretien étant un élément de succès, il est avantageux de s'en tenir à la forme bicylindre, qui a plus particulièrement reçu le nom de système Mallet, dans tous

les cas où elle est applicable; on ne peut alors opposer à des avantages évidents aucune des objections qui sont faites aux autres dispositions nécessairement plus compliquées. L'expérience a montré que la dissymétrie des locomotives compound à deux cylindres était sans inconvénient.

La pratique indiquera dans quel cas il pourra être avantageux d'employer plus de deux cylindres. La question se présente, en particulier, lorsque la machine doit développer un effort de traction considérable. L'expansion totale dépend uniquement de la quantité de vapeur dépensée, et du volume du cylindre détendeur, quel que soit celui du cylindre admetteur. Si donc, on adopte pour le grand cylindre d'une locomotive compound un volume double de celui des cylindres de la machine ordinaire à laquelle on veut la comparer, on bénéficie du système compound par l'emploi d'admissions plus prolongées, mais on ne gagne rien comme détente ; il faut, pour réaliser cet autre avantage, prendre un cylindre détendeur plus grand encore, et si la machine doit dépenser beaucoup de vapeur, condition indispensable pour obtenir un grand éffort de traction, on peut se trouver conduit à des dimensions exagérées et incompatibles avec certaines conditions de construction ; dans ce cas, l'emploi de trois ou de quatre cylindres peut être préférable. Nous ajouterons cependant que l'augmentation désirable de la détente ne doit pas faire perdre de vue l'avantage, certainement plus grand, d'éviter les courtes admissions et la perte de vapeur qu'elles entrainent par condensation.

IV. — Les locomotives compound de la Compagnie du Chemin de fer du Nord.

Nous avons recherché précédemment quels pouvaient être les avantages à recueillir de l'application du principe compound aux locomotives.

Quant aux résultats fournis jusqu'ici par les machines de ce système, en France et surtout à l'étranger où de nombreuses applications en ont été faites, ils sont favorables. Notre but est de nous arrêter seulement aux essais qui se poursuivent sur les ma-

chines de la Compagnie du Nord, lesquelles sont de trois types différents, savoir :

La locomotive de grande vitesse n° 701, à 4 cylindres et à essieux indépendants.

Quatre locomotives à marchandises à 8 roues couplées et à 4 cylindres, système Woolf.

La locomotive n° 3 101 à 3 cylindres et à 6 roues couplées.

Les machines n°s 701, 3 101 et l'une de celles à 8 roues couplées portant le n° 4 733 figurent à l'Exposition universelle, la première au nom de la Société Alsacienne de constructions mécaniques; les deux autres, au nom de la Compagnie du Nord.

Les locomotives n°s 701 et 4 733 ayant été décrites dans la *Revue Générale des Chemins de fer*, qui a rendu compte également, d'une manière détaillée, des expériences dont elles ont été l'objet (1), et les renseignements semblables qui se rapportent à la machine n° 3101 étant en cours de publication, il nous suffira de présenter ici, en même temps que leurs conditions principales d'établissement, un résumé des résultats acquis.

LOCOMOTIVE A 4 CYLINDRES, N° 701, POUR TRAIN EXRESS (Pl. 210, fig. 1 et 2.)

Description de la machine. — La locomotive n° 701 a été étudiée par M. A. de Glehn, Ingénieur et administrateur de la Société Alsacienne de constructions mécaniques, et construite dans les ateliers de cette Société ; elle diffère peu, comme chaudière et comme véhicule, des autres locomotives de grande vitesse de la Compagnie du Nord, type représenté à l'Exposition de 1878 par la machine n° 2861, et nous dirons seulement quelques mots de ses dispositions nouvelles.

Les cylindres intérieurs réduits au diamètre de 330 *mm* ont été affectés à la haute pression et actionnent l'essieu du milieu. Deux cylindres de basse pression ayant 460 *mm* de diamètre ont été ajoutés extérieurement et actionnent l'essieu d'arrière; — l'accouplement est supprimé. Le réservoir intermédiaire est formé, en partie, par un tuyau de fort diamètre qui, logé dans la boîte à fumée, réunit les deux chambres d'échappement des petits cylindres, et en partie par les deux tuyaux qui mettent ces chambres en communication avec les boîtes à vapeur des grands cylindres.

(1) *Revue Générale des Chemins de fer.* — N^{os} de mai et juin 1887 pour la locomotive 701 et n° de novembre 1888 pour la locomotive 4733.

La chaudière est timbrée à 11 *kg*, et la pression effective au réservoir intermédiaire est limitée à 5,7 *kg* par une soupape de sûreté.

Le poids adhérent de 27,6 *t* est inférieur de 1 *t* à celui des autres locomotives, malgré l'addition des cylindres extérieurs, et cela à cause de la réduction de poids du châssis, les longerons extérieurs ayant été supprimés.

Les distributions, indépendantes en principe, peuvent aussi être commandées simultanément par le volant de changement de marche, et dans ce cas, si on est parti du cran zéro pour l'une et pour l'autre, on obtient des admissions sensiblement égales dans les deux groupes de cylindres. Ce mécanisme a été imité de celui que M. Mallet a employé sur les locomotives construites en second lieu pour le chemin de fer de Bayonne à Biarritz, et dont l'une figurait à l'Exposition de 1878 (1).

Enfin, pour faciliter le démarrage, un robinet, manœuvré par le mécanicien, permet d'envoyer la vapeur de la chaudière, directement au réservoir intermédiaire, par un tuyau de 20 *mm* de diamètre intérieur.

Utilisation de la vapeur. — Les diagrammes d'indicateur ont mis en évidence la compression exagérée de la vapeur dans les petits cylindres, ce que d'ailleurs on avait reconnu, dès la mise en service de la machine au mois de janvier 1886. Nous avons parlé de cet inconvénient, commun à toutes les machines compound; on l'a supprimé sur la locomotive 701 en augmentant les espaces neutres par la substitution de pistons évidés aux pistons primitifs; il y a bien, de ce fait, une diminution de détente aux cylindres admetteurs, mais cela est sans importance, ainsi que nous l'avons montré précédemment, puisque la même vapeur est détendue ensuite aux cylindres de basse pression.

L'admission aux grands cylindres, doit être changée, entre des limites assez étendues, notamment pour faciliter le roulement de la machine à très grande vitesse, par une introduction plus prolongée à ces cylindres, qui réduit la pression au réservoir intermédiaire et, par suite, la contre-pression aux petits cylindres. L'indépendance des distributions est donc très utile sur cette machine.

Nous avons constaté, autant qu'on peut le faire par les calculs de poids de vapeur d'après les diagrammes, que le passage de la

(1) Les premières machines de cette ligne avaient des distributions liées invariablement.

vapeur d'un cylindre à l'autre entraînait une perte par condensation de 10 0/0 environ. Cette perte assez élevée, tient sans doute à l'inefficacité du réchauffage de la vapeur qui n'est pas obligée de circuler dans le tuyau de la boîte à fumée, et à la condensation dans les tuyaux d'admission des grands cylindres.

Enfin, pour les admissions prolongées aux petits cylindres, nécessaires sur les rampes, la pression d'échappement des grands cylindres est un peu plus élevée qu'il ne convient pour le tirage ; on aurait donc gagné à pousser plus loin la détente, en adoptant des cylindres détendeurs plus grands.

Puissance de démarrage. — En appliquant la formule [6], on trouve comme effort maximum théorique de traction, évalué sur les pistons : $F_p = 5\,030$ *kg*, tandis que les autres machines de grande vitesse ont un effort de 5 420 *kg*. La locomotive n° 701 est donc un peu plus faible, mais son infériorité au démarrage doit être attribuée surtout à l'indépendance des essieux moteurs qui ont chacun une adhérence de **14 *t*** environ. Néanmoins, la mise en marche a souvent lieu sans le secours de l'admission directe au réservoir intermédiaire, mais un peu lentement. Pour la faciliter, on a appliqué aux roues du milieu, dont l'essieu est commandé par les cylindres de haute pression, la sablière à vapeur système Gresham et Craven. L'indépendance des essieux n'a plus dès lors autant d'inconvénient.

Enfin, tout récemment, on a appliqué une voûte en briques dans le foyer de cette machine.

Consommations. — L'économie de charbon de cette locomotive, évaluée durant ses trois années de service par la méthode la plus rigoureuse dont nous avons parlé, a été constamment de $\frac{1}{2}$ *kg* environ par kilomètre, résultat assez important eu égard à ce procédé d'évaluation et aux imperfections de détail signalées. Si l'économie n'est pas plus grande, cela paraît tenir : à l'insuffisance de la section des lumières des cylindres de haute pression, à l'insuffisance de volume des cylindres de basse pression, à l'échappement fixe, et surtout à la perte par condensation au réservoir intermédiaire. Nous ajouterons que cette locomotive consomme beaucoup plus de graissage que les autres machines faisant le même service ; la cause en est, pour la plus grande part, absolument étrangère au principe compound, et consiste dans la disposition des boîtes à

graisse d'arrière qui ont une tendance continuelle à chauffer. L'accroissement de dépense d'huile causé par l'addition du mécanisme extérieur n'a pas été évalué, mais on peut dire que les pistons seuls en absorbent une quantité appréciable.

L'emploi des quatre cylindres peut occasionner en effet un supplément de dépense de graissage, qui n'est pas à craindre sur les locomotives compound à deux cylindres. Aussi le graissage de la vapeur au régulateur semble-t-il devoir être particulièrement avantageux lorsque la même vapeur doit travailler successivement dans deux cylindres.

Nous ne terminerons pas ce résumé de l'historique de la locomotive n° 701, sans présenter une observation qui trouve ici sa place. Si nous avons cru devoir critiquer sans réserves certaines dispositions de cette machine, c'est, on le comprendra, uniquement pour dégager les conclusions des expériences dont elle a été l'objet de la part de la Compagnie du Nord ; en mentionnant ses résultats économiques joints à un excellent service, nous sommes amené à conclure que M. de Glehn a obtenu dans cette première application tout le succès qu'on peut attendre de l'étude difficile d'un type entièrement nouveau. Il nous reste à parler de l'entretien qui a donné lieu à des observations intéressantes.

Entretien. — Le parcours total de la locomotive n° 701, depuis le mois de janvier 1886, époque de sa mise en service, jusqu'au mois de mars 1889, a été de 146 300 *km*.

En janvier 1888, on dut lui faire subir une réparation motivée par des causes étrangères au système ; il s'agissait du tournage des roues, de la consolidation et de légères modifications du châssis. Le parcours, qui était alors de 107 500 *km*, se trouvait peu inférieur au parcours moyen de 125 à 130 000 *km* effectué par les autres locomotives de grande vitesse avant leur première grande réparation. Aussi convient-il de dire que l'état du mécanisme était encore satisfaisant après ce parcours de 107 500 *km*, et qu'à cet égard la machine aurait pu rester en service. Les pièces très sujettes à usure, telles que les segments de pistons et les tiroirs, ont été suivies pendant ces trois ans, et nous rendons compte ci-après de leurs remplacements.

Historique des segments de pistons.

DÉSIGNATION DES CYLINDRES	DATE D'APPLICATION	DATE DE RETRAIT	PARCOURS KILOMÉTRIQUE
Hte pression (droit et gauche).	Janvier 1886.	Mars 1886.	10.670
— —	Mars 1886.	Juillet 1886.	10.500
— —	Juillet 1886.	Mars 1887.	35.000
— —	Mars 1887.	Encore en service.	Plus de 89.500
Basse pression (gauche) .	Janvier 1886.	Septembre 1887.	88.000
— —	Septembre 1887.	Encore en service.	Plus de 58.000
— (droit) . .	Janvier 1886.	—	Plus de 146.000

Le parcours moyen des segments de pistons des locomotives de grande vitesse étant de 10 000 *km* environ, le parcours de 146 000 *km* exige au moins 14 remplacements, tandis que, d'après le tableau ci-dessus, il en a été fait moins de 11 sur la locomotive 701, puisque les segments qu'elle possède actuellement ne sont pas usés.

Tiroirs de distribution. — Ces tiroirs sont en bronze ordinaire au titre de 84 parties de cuivre et 16 d'étain. Les parcours des pièces sont indiqués dans le tableau ci-après :

Historique des tiroirs de distribution.

DÉSIGNATION DES CYLINDRES	DATE DE MISE EN SERVICE	DATE DE RETRAIT	PARCOURS KILOMÉTRIQUE
Hte pression (droit et gauche).	Janvier 1886.	Février 1887.	55.066
— —	Février 1887.	Février 1888.	52.486
— —	Février 1888.	Encore en service.	Plus de 38.800
Basse pression (droit). . .	Janvier 1886.	Février 1888.	107.500
— —	Février 1888.	Encore en service.	Plus de 38.800
— (gauche). .	Janvier 1886.	—	Plus de 146.300

Le parcours moyen d'un tiroir de locomotive de grande vitesse de la Compagnie du Nord, pendant les trois dernières années, ayant

été de 26 500 *km*, ces machines ont usé onze tiroirs pour un parcours de 146 000 *km*, égal à celui de la locomotive compound, tandis que cette dernière en a usé 5 seulement. Nous ajouterons que dans ce nombre, il s'en trouve 4 dont le poids brut est de 18,5 *kg*, tandis que les tiroirs des locomotives ordinaires pèsent 32 *kg*. L'usure beaucoup plus rapide des tiroirs des cylindres de haute pression s'explique par la plus grande pression qu'ils supportent par unité de surface ; la totalité de la surface extérieure est soumise à la pression absolue de 11 *kg* et la portion, qui reçoit la sous-pression, supporte, d'après les diagrammes, 6,5 *kg* effectifs ; tandis que pour les tiroirs des grands cylindres, les pressions correspondantes sont de 4,5 *kg* et 3,5 *kg*. On peut trouver, dans cette sorte de proportionnalité de l'usure aux pressions et surtout dans le fait de l'usure rapide des tiroirs non équilibrés des locomotives à simple expansion faisant le même service, un certain désaccord avec une hypothèse faite par le professeur S.-W. Robinson (1) au sujet du frottement des tiroirs sur les tables, lequel serait beaucoup moins élevé qu'on ne le croit généralement, à cause de l'interposition d'une mince couche de vapeur vésiculaire entre les surfaces. Ce frottement a pu être évalué trop haut, mais il faudrait se garder de tomber dans l'exagération contraire. Nous pensons que la majeure partie des résistances passives du mécanisme provient de l'entraînement des tiroirs de distribution. Les dispositions prises pour équilibrer en partie la pression de ces pièces, afin de diminuer l'usure et d'augmenter le rendement de la machine, sont d'ailleurs souvent justifiées par leurs bons résultats ; mais l'emploi des tiroirs à pression réduite ne nous paraîtrait pas, lors même que leur fonctionnement serait toujours certain, devoir empêcher de considérer comme précieuses, au point de vue de l'entretien, les conséquences de l'action successive de la vapeur dans deux cylindres. Rien n'empêcherait de superposer les deux avantages, et d'employer des tiroirs à pression réduite dans les cylindres de haute pression des locomotives compound.

De semblables avantages doivent être considérés comme très importants, non seulement à cause de l'économie de matière et de main-d'œuvre réalisée, mais aussi parce que les remplacements beaucoup moins fréquents des tiroirs assurent une plus grande régularité de service.

(1) Mémoires et compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs Civils : *Chronique* d'avril 1887, p. 683, d'après les Transactions of american Society of Méchanical Engineers, et *Chronique* de mars 1889, p. 581.

Usure des bandages. — Pour un travail donné transmis aux manivelles motrices, et, par conséquent, pour un même effort moyen par coup de piston, le travail pendant une course est moins variable sur une locomotive compound que sur une locomotive ordinaire et l'effort initial sur la bielle motrice est moins élevé. Il doit résulter de cette plus grande uniformité du travail une usure moindre des bandages des roues motrices. Ceux de la locomotive 701 ont subi un seul rafraichissage pour les remettre au profil après un parcours de 107 200 *km*. Il faut remarquer que cette machine se trouve dans des conditions défavorables au point de vue de l'usure des bandages, à cause de l'indépendance des essieux.

Le parcours annuel moyen de la locomotive n° 701 a été de 45 000 *km*, et peut paraître faible ; aussi ferons-nous observer que cela tient aux modifications ou applications d'appareils qui ont eu lieu pendant la durée des expériences dont elle a été l'objet ; elle n'a eu aucune interruption de service qui puisse être attribuée au fonctionnement compound, le seul dont elle soit pourvue, aucune détresse qui ait pu faire regretter l'absence d'une disposition permettant l'admission directe et complète de la vapeur dans les grands cylindres.

Cette observation ne tend nullement à contester l'utilité du fonctionnement facultatif des locomotives compound comme machines ordinaires ; il s'agit ici d'une locomotive à roues libres pour laquelle l'admission restreinte de la vapeur vive aux grands cylindres suffit à l'utilisation de l'adhérence des roues qu'ils commandent.

LOCOMOTIVE WOOLF A HUIT ROUES COUPLÉES ET A QUATRE CYLINDRES EN TANDEM, n° 4733.

Le système Woolf, d'un usage très ancien sur les machines de manufactures et dans la marine, a été jusqu'ici peu appliqué aux locomotives. Il a pour objet, comme le système compound, d'utiliser la même vapeur dans des cylindres successifs, mais il en diffère en ce que le passage de cette vapeur de l'un à l'autre se fait par transvasement, sans interposition de réservoir intermédiaire. Il existe de ce fait une différence assez notable dans le fonctionnement des deux sortes de machines qui ont leurs caractères spéciaux, mais qui, en fin de compte, procurent les mêmes avantages : utilisation plus complète de la détente ; réduction de

la condensation à l'admission ; uniformité plus grande du moment de rotation, et usure moins grande des pièces du mécanisme.

Le réservoir intermédiaire entraîne inévitablement un peu de perte par condensation, inconvénient qui n'existe pas dans les machines Woolf; mais par contre, la température moyenne qui s'établit dans le cylindre de haute pression d'après les températures initiale et finale de la vapeur est, toutes choses égales, plus élevée dans les machines compound, ce qui est un avantage. De plus, dans le système Woolf, le réservoir intermédiaire ne peut, pratiquement, être supprimé d'une manière complète, et l'espace existant entre l'échappement du petit cylindre et la boîte à vapeur du grand, entraîne, au moment où la vapeur s'échappe du premier, une chute de pression sans production de travail mécanique, à laquelle on ne peut remédier; il faut ajouter cependant qu'avec un espace intermédiaire très réduit cette perte de travail a peu d'importance. Enfin, pour un même poids de vapeur dépensée dans des cylindres de haute pression de volumes égaux, la pression de la vapeur, au commencement de la compression, est plus faible dans une machine Woolf que dans une machine compound ; l'exagération de la compression est donc moins à craindre avec le premier système qu'avec le second.

Pour terminer cet aperçu comparatif des principes Woolf et compound, nous ferons remarquer qu'au point de vue particulier de leur application aux locomotives, sur lesquelles les manivelles motrices ne peuvent être ni concordantes ni diamétralement opposées, le système Woolf exige l'emploi de quatre cylindres; il trouve donc surtout son application dans le cas où une grande puissance est nécessaire.

M. Du Bousquet, Ingénieur inspecteur principal de la traction, qui a proposé, puis réalisé l'application du système Woolf à une locomotive à huit roues couplées de la Compagnie du Nord, a exposé, dans la *Revue Générale des Chemins de fer* (1), l'historique de cette transformation, faite en premier lieu sur la locomotive n° 4729, identique d'ailleurs à la machine n° 4733, qui figure à l'Exposition.

Le but de M. Du Bousquet était d'obtenir un plus grand travail d'un poids donné de vapeur, sans rien changer au mécanisme de distribution, et sans augmenter, pour l'admission maxima aux petits cylindres, le travail par coup de piston. Pour utiliser la détente dans la plus large mesure possible, il a cherché une

(1) Numéro de novembre 1888.

augmentation d'expansion donnant, d'après la quantité de vapeur dépensée en palier, une pression d'échappement très peu supérieure à la pression atmosphérique ; il s'est arrêté à l'emploi de quatre cylindres placés en tandem, ce qui n'exigeait d'autre changement dans le mécanisme de propulsion que l'emploi d'une seule crosse de piston pour les deux cylindres successifs. Ce projet, approuvé par le regretté Ingénieur en chef du matériel et de la traction, M. Édouard Delebecque, et par l'Ingénieur principal de la traction, M. Ferdinand Mathias, aujourd'hui son successeur, avait l'avantage de ne rien changer aux dispositions générales de la machine, en vue de l'extension possible du système à un type dont la Compagnie possède 400 exemplaires.

Les principales conditions d'établissement de la machine avant transformation sont les suivantes :

Timbre de la chaudière	10 *kg*
Surface de chauffe totale	125,98 m^2
— de grille	2,08
Diamètre des cylindres.	0,500 *m*
Course des pistons.	0,650
Diamètre des roues	1,300
Poids total, utile pour l'adhérence. . . .	44,7 *t*

Les diamètres des nouveaux cylindres sont de 0,380 *m* pour la haute pression et 0,660 pour la basse pression. Les volumes occupés finalement par la vapeur, dans la machine Woolf et dans la machine ordinaire, sont comme 1,74 : 1 et le rapport des volumes des deux cylindres tandem est 3.

Les deux cylindres, séparés par une cloison, sont fondus d'une seule pièce, et un seul tiroir opère, pour l'un et pour l'autre, des distributions identiques de la vapeur. L'échappement se fait du petit au grand cylindre par un canal pratiqué dans ce tiroir, disposition heureuse qui réduit le volume de l'espace neutre au minimum. Le tiroir unique a nécessairement de grandes dimensions, et il est à pression réduite ; il porte un second canal, système Trick, servant à diminuer le laminage de la vapeur à l'introduction dans le petit cylindre.

L'application de cylindres beaucoup plus lourds a obligé, pour obtenir une répartition convenable de la charge, à placer une traverse en fonte du poids de 3 000 *kg*, sous les pieds du mécanicien ; le poids total de la machine en ordre de marche s'est ainsi

trouvé porté de 44,7 *t* à 51,7 *t* et on a pu, sans être obligé d'ajouter un essieu porteur, ne pas dépasser la charge de 14 *t* à 14,3 *t* par essieu, admise comme maximum à la Compagnie du Nord.

En raison du très grand volume des cylindres de basse pression, la marche à régulateur fermé, souvent prolongée pour les locomotives à marchandises, aurait donné lieu à une forte aspiration des gaz de la boite à fumée jusque dans ces cylindres; M. Du Bousquet a évité cet inconvénient en les munissant de soupapes automatiques d'une disposition spéciale, étudiée pour éviter tout battement sur leurs sièges. Afin de faciliter le démarrage, on peut envoyer la vapeur de la chaudière directement sur les grands pistons par un tuyau de 30 ^{mm} de diamètre intérieur.

Principaux résultats des expériences. — De nombreuses expériences de traction, dont les résultats très intéressants sont relatés par l'article précité de la *Revue générale des Chemins de fer*, ont été faites sur la locomotive 4 729, avant et après transformation. On a constaté sur la locomotive Woolf, en même temps qu'une économie de combustible évaluée à 12,6 0/0 par rapport à des machines non transformées faisant un service exactement semblable, une meilleure utilisation de la vapeur et un accroissement de la puissance de démarrage, dont l'augmentation de poids adhérent et la résistance suffisante de l'ancien mécanisme de propulsion permettent de bénéficier. Ainsi, cette machine a pu démarrer un train de charbon de 900 *t* au pied de la rampe de 10,5^{mm} sur 600 *m* de longueur, qui réunit la gare de triage de La Chapelle à la gare aux charbons. Enfin des expériences comparatives fort concluantes ont été faites tout récemment, en remorquant, sur le profil accidenté de la ligne de Valenciennes à Hirson, qui comporte des rampes de 10 et 11 ^{mm}, des charges croissantes jusqu'à 687 *t*. Les dépenses kilométriques de combustible sont portées au tableau ci-contre que nous extrayons de la notice publiée par la Compagnie du chemin de fer du Nord sur les locomotives figurant à l'Exposition.

Tableau comparatif de la charge, de la consommation de combustible et de la dépense kilométrique des divers types de machines remorquant des trains lourds sur la ligne de Valenciennes à Hirson.

CHARGE des TRAINS	TYPE DES MACHINES	CONSOMMATION				DÉPENSE		OBSERVATIONS
		HOUILLE	BRIQUETTES	TOTALE	PAR KILOMÈTRE	Prix de la tonne de combustible en tenant compte de la proportion 0/0 de briquettes	DÉPENSE KILOMÉTRIQUE	
tonnes		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	fr. c.	fr. c.	
400	Machine à 8 roues couplées ordinaire	1 100	260	1 360	18,3	10,95	0,200	Dans ces essais, les rampes ont été franchies à la vitesse moyenne de 15 kilomètres à l'heure.
	Type Woolf	1 150	92	1 242	16,6	10,06	0,167	
450	Machine à 8 roues couplées ordinaire	1 300	442	1 742	23,2	11,25	0,255	
	Type Woolf	1 350	92	1 442	19,4	10,45	0,202	
500	Machine à 8 roues couplées ordinaire	1 250	414	1 664	22,2	11,25	0,250	
	Type Woolf	1 450	»	1 450	19,3	10 »	0,193	
540	Machine à 8 roues couplées ordinaire	1 300	765	2 065	27,5	11,85	0,325	
550	**Type Woolf**	1 450	265	1 715	22,9	10,80	0,247	
596	Double traction : machine à 8 roues couplées et machine à 6 roues couplées	2 950	500	3 450	46 »	10,75	0,494	
610	Machine à 8 roues couplées à cylindres agrandis	1 850	700	2 550	34 »	11,35	0,385	
605	**Type Woolf**	1 775	382	2 157	28,8	10,90	0,315	
654	Double traction : machine à 8 roues couplées et machine à 6 roues couplées	2 750	850	3 600	48 »	11,20	0,535	
685	**Type Woolf**	2 000	490	2 490	33,2	10,90	0,362	

L'économie procurée par la locomotive Woolf croît avec la charge et, circonstance importante à noter, lorsque celle-ci atteint **600** *t*, on est obligé de recourir à la double traction avec les locomotives ordinaires. La supériorité de la locomotive Woolf devient alors considérable puisque, à l'économie de combustible s'ajoute celle du personnel et de l'entretien d'une machine.

Pour éviter un accroissement de dépense d'huile, M. Du Bousquet fait usage d'un graisseur à condensation, système Consolin, pour lubrifier la vapeur à sa sortie du régulateur (1). L'efficacité de cette précaution a été complète; une économie de graissage en faveur de la locomotive Woolf a même semblé indiquée dans la comparaison qui en a été faite sous ce rapport pendant un mois, avec une machine non transformée.

En résumé, la transformation dont nous venons de parler a fourni les bons résultats qu'on en attendait, et il a été décidé, à l'issue des expériences en service, que trois autres machines subiraient immédiatement la même modification aux ateliers d'Hellemmes-Lille. Nous ajouterons que vingt locomotives de ce nouveaux type ont été commandées récemment à la Compagnie de Fives-Lille, en conservant les mêmes dispositions, mais en portant à **12** *kg* le timbre de la chaudière, et en renforçant les pièces du mécanisme.

EFFORT MAXIMUM THÉORIQUE DE TRACTION DES LOCOMOTIVES SYSTÈME WOOLF

Le travail de la vapeur dans une machine composée (compound proprement dite ou Woolf) est théoriquement le même que si celle dépensée par coup de piston se trouvait admise directement dans le cylindre détendeur, et y subissait la détente totale; mais, ainsi que nous l'avons dit à propos des locomotives compound, on serait conduit à une estimation exagérée de l'effort de traction si on basait le calcul sur cette hypothèse. D'autre part, les formules établies précédemment pour ces dernières machines ne s'appliquent pas aux locomotives Woolf dans lesquelles les conditions du travail sont différentes. Il est nécessaire pour les unes et les autres, et ne fût-ce qu'au point de vue d'un démarrage facile, de prévoir l'admission directe dans les grands

(1) La machine porte aussi, comme toutes les autres, des godets à l'arrière pour le graissage des tiroirs en marche, mais on s'en sert rarement, et seulement quand le régulateur est fermé.

cylindres, et l'effort de traction d'une machine Woolf se trouve alors augmenté en raison de l'élévation de la pression pendant le transvasement et l'admission aux cylindres de basse pression. Dans le cas, au contraire, où le fonctionnement Woolf est employé soit pour démarrer, soit en marche à très faible vitesse, avec l'admission maxima aux petits cylindres, il est intéressant de comparer, comme nous l'avons fait pour les locomotives compound, l'effort maximum ainsi obtenu, avec l'effort calculé à l'aide de l'équation $F = \frac{Pd^1 l}{D}$ des locomotives à simple expansion.

Nous supposerons encore ici que cette admission a lieu pendant toute la course, en négligeant la faible détente et l'avance à l'échappement, comme on le fait pour les locomotives ordinaires, mais cela seulement au point de vue de la durée de l'admission au premier et au second cylindre, et du travail qui en résulterait sur les pistons pendant leur course directe, car cette hypothèse n'est plus admissible au point de vue de la pression qui s'établit, à la fin de la course directe du piston de haute pression, sur la face résistante de celui-ci et sur la face motrice du piston de basse pression.

Lorsque l'échappement du petit cylindre commence, la vapeur se mélange à celle que contient le réservoir intermédiaire, à une pression h à calculer, d'où résulte une chute de pression suivie de la détente de ce mélange jusque vers la fin de la course; au moment où l'admission s'ouvre au grand cylindre, cette vapeur subit une nouvelle chute en pénétrant dans l'espace nuisible qui contient de la vapeur conservée à la fin de la course précédente, et ramenée à une pression absolue h_0 par une faible compression; cette pression h_0 dépend de celle de l'échappement normal, de l'étendue de la compression pour la marche à fond de course, et du volume relatif de l'espace nuisible, toutes quantités qui varient peu d'une machine à une autre, et on peut supposer $h_0 = 2$ *kg.* (1).

Quant à h, pression absolue à la fin de l'admission au grand cylindre, on la détermine par cette considération que la quantité de vapeur dépensée à chaque coup de piston par les deux cylin-

(1) Nous n'avons pas tenu compte, en calculant l'effort de traction des locomotives compound, de la très petite chute de pression qui se produit, sans travail mécanique, dans le réservoir intermédiaire, par suite de l'introduction de la vapeur qu'il contient, dans l'espace nuisible du grand cylindre, au moment du démarrage et à chaque coup de piston; mais on ne peut négliger sur une locomotive Woolf, les chutes de pression, dont il vient d'être parlé, à cause du volume relativement grand de l'espace intermédiaire et des espaces nuisibles, par rapport au volume de la vapeur provenant à chaque coup de piston du petit cylindre.



dres successifs est la même. Pour le premier cylindre, on peut admettre, comme le montrent les diagrammes, que la vapeur des espaces nuisibles est ramenée, par la compression, à la moitié seulement de la pression absolue de la chaudière ; la quantité de vapeur introduite se compose donc de l'admission proprement dite, augmentée de la moitié du volume de l'espace nuisible. Pour le second cylindre, la quantité de vapeur dépensée est égale à celle qu'il renferme à la fin de l'admission, diminuée de celle qui se retrouve à la fin de la compression.

Soient donc :

a et a' les admissions maxima exprimées en fraction des volumes des cylindres,

v et V les volumes du petit et du grand cylindre, et r leur rapport,

z et z' les volumes des espaces nuisibles exprimés en fractions des volumes des cylindres,

u le volume du réservoir intermédiaire exprimé en fraction du volume du petit cylindre,

H, h et h_0 les pressions absolues dans la chaudière, à la fin de l'admission au premier cylindre et à la fin de la compression au second.

En exprimant l'égalité des poids de vapeur dépensée (1), et substituant aux densités les pressions qui leur sont à peu près proportionnelles, on a :

$$\left(a + \frac{z}{2}\right) v \,\mathrm{H} = (a' + z')\, \mathrm{V}\, h - z'\, \mathrm{V}\, h_0$$

d'où on tire, en remarquant que $\frac{\mathrm{V}}{v} = \frac{1}{z}$ et $h_0 = 2$:

$$h = \mathrm{H} \times \frac{\left(a + \frac{z}{2}\right)\frac{1}{r} + \frac{2\,z'}{\mathrm{H}}}{a' + z'}$$

Or les admissions à fond de course a et a' diffèrent toujours très peu ; et l'espace nuisible du petit cylindre, qu'on est obligé d'agrandir pour éviter une trop forte compression en pleine marche, peut être estimé au double de celui du grand cylindre, de sorte que $\frac{z}{2} = z'$, et que $\frac{a + \frac{z}{2}}{a' + z'} = 1$. Enfin z, est égal à 0,07 en-

(1) Ceci suppose qu'il n'y a pas de perte par condensation entre la fin de l'admission au premier cylindre et la fin de la compression au second.

viron et la pression H des locomotives compound est toujours élevée, aussi le terme $\frac{\frac{2z'}{H}}{a'+z'}$ peut-il être négligé par rapport à $\frac{1}{r}$; en le supprimant on ne ferait que compenser la petite erreur en excès signalée ci-dessus, et celle résultant de l'hypothèse que nous admettrons plus loin, d'une chute de pression nulle pendant le passage de la vapeur d'un cylindre à l'autre, la formule se réduirait donc à :

$$h = \frac{H}{r}$$

Pour calculer le travail, on pourrait maintenant supposer qu'on ramène à la pression H dans le petit cylindre, la vapeur qui se trouve dans l'espace nuisible du grand cylindre à la pression h_0, et celle qui se trouve dans le réservoir intermédiaire à la pression h, puis augmente le volume de la vapeur présente dans le cylindre, de haute pression au commencement de son échappement, de ceux qu'on aurait calculés comme nous venons de le dire ; on aurait un volume total qu'on pourrait considérer comme rencontrant la pression absolue zéro dans le réservoir intermédiaire et dans l'espace nuisible du grand cylindre. Toutefois, les diagrammes relevés sur la locomotive Wolff nº 4 729 montrent que la pression initiale du grand cylindre, ainsi calculée, serait un peu exagérée, et cela certainement à cause de la condensation qui se produit au commencement de son admission. Aussi la valeur $h = \frac{H}{r}$, trouvée précédemment, pour la pression finale d'admission, doit-elle être considérée comme un peu trop grande. Il est donc préférable de prendre comme volume de la vapeur à la pression H, présente dans le cylindre de haute pression au commencement de l'échappement, le volume $(a + z)\,v$. Soient donc enfin :

s et S les surfaces du petit et du grand piston,
d le diamètre du petit cylindre, exprimé en centimètres,
l la course commune des pistons exprimée en centimètres,
D le diamètre des roues motrices exprimé en centimètres,
h' la pression absolue qui s'exerce en même temps sur les deux pistons, après un chemin x parcouru depuis l'origine de la course.

U la somme des volumes des espaces nuisibles et du réservoir intermédiaire exprimée en fraction du volume du petit cylindre.

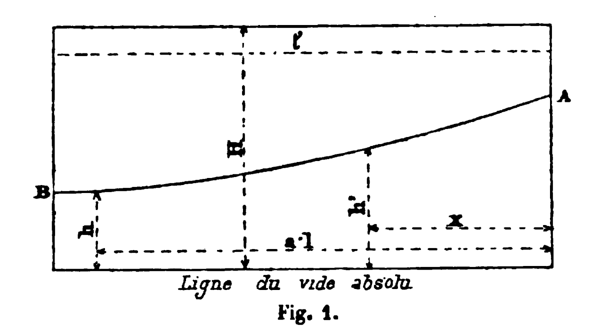


Fig. 1.

Le diagramme ci-dessus (Fig. 5) indique les conditions théoriques du travail dans les deux cylindres ; la courbe hyperbolique AB figure les pressions décroissantes de la vapeur donnant, par unité de surface, le même travail, résistant sur le petit piston, et moteur sur le grand.

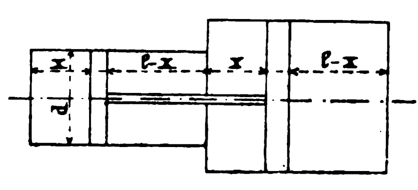


Fig. 2.

En se reportant à la figure 6, on voit qu'une pression quelconque h' se déduit de la formule :

$$h'\left[S\,x + s\,(l - x) + U\,sl\right] = (a + z)\,s\,l\,H$$

d'où : (1) $h' = \dfrac{(a + z)\,s\,l\,H}{(1 + U)\,s\,l + (S - s)\,x}$ (1).

Le travail élémentaire de cette force est $h'\,dx$, et on a pour le travail total que nous désignons par t_1 :

$$t_1 = \int h'\,dx = (a + z)\,sl\,H \int \frac{dx}{(1 + U)\,sl + (S - s)\,x}$$

$$= \frac{(a + z)\,sl\,H}{S - s} \times \text{log. nat.} \left[(1 + U)\,sl + (S - s)\,x\right].$$

(1) Pour connaître la pression h à la fin de l'admission au grand cylindre, il suffira de remplacer x par la fraction de course représentant cette admission, c'est-à-dire par le produit $a'\,l$; on a donc, en faisant les simplifications, et en remarquant que $\frac{S}{s}$ est le rapport r des volumes des cylindres : $h = \dfrac{(a + z)\,H}{1 + U + a'\,(r - 1)}$, valeur plus conforme à la réalité que la valeur $\frac{H}{r}$ trouvée plus haut en tenant compte de la vapeur contenue dans le réservoir et l'espace nuisible du grand cylindre.

Le travail t, pour un coup de piston, sera obtenu en intégrant entre les limites $x = o$ et $x = l$, ce qui donne : (1)

$$t_1 = \frac{(a + z)\, sl\, H}{S - s} \left[\text{log. nat. } (S\, l + U\, sl) - \text{log nat. } (1 + U)\, sl \right]$$

d'où, en remarquant que $S = r\, s$ et faisant les simplifications :

$$t_1 = \frac{(a + z)\, l\, H}{r - 1} \text{ log nat. } \frac{r + U}{1 + U}$$

Le travail total absolu de contre-pression dans le petit cylindre est St_1, et le travail total absolu pendant la course directe du grand piston, sur sa face motrice est $S\, t_1$. Nous allons maintenant calculer, pour chaque cylindre, le travail effectif d'un coup de piston, et en déduire l'effort de traction correspondant.

Pour les petits cylindres, nous supposerons, comme on le fait dans le cas des locomotives ordinaires, que le travail de la vapeur dans la course directe est le même que si l'admission avait lieu pendant toute la course, et nous aurons en appelant t le travail effectif :

$$t = sl\, H - s\, t_1,$$

ou :

$$t = sl\, H - \frac{a + z}{r - 1}\, sl\, H \text{ log. nat. } \frac{r + U}{1 + U}$$

$$= sl\, H \left(1 - \frac{a + z}{r - 1} \text{ log. nat. } \frac{r + U}{1 + U}\right).$$

Effort maximum théorique des petits cylindres. — Le travail des petits cylindres pour un tour de roues est celui de 4 coups de pistons, et il est égal, abstraction faite de la résistance du mécanisme, à $\pi\, D\, F$, en désignant par F l'effort tangentiel à la circonférence des roues motrices, égal à l'effort de traction évalué sur les pistons ; donc :

$$\pi\, D\, F = \pi\, d^2\, l\, H \left(1 - \frac{a + z}{r - 1} \text{ log. nat } \frac{r + U}{1 + U}\right).$$

L'effort maximum des petits cylindres est donc :

$$F = \frac{H\, d^2\, l}{D} \left(1 - \frac{a + z}{r - 1} \text{ log. nat. } \frac{r + U}{1 + U}\right).$$

(1) Nous supposons, pour simplifier, que le travail de détente s'effectue pendant toute la course, et suivant la loi exprimée par la formule [1], ce qui est une approximation bien suffisante.

Pour les grands cylindres, le travail maximum correspond à la plus faible contre-pression, c'est-à-dire théoriquement, à la pression atmosphérique ou 1 *kg* environ. Le travail effectif t' d'un coup de piston a pour valeur :

$$t' = S\,t_1 - S\,l,$$

ou :

$$t' = \frac{S\,(a+z)\,sl\,H}{S-s}\ \text{log. nat.}\ \frac{r+U}{1+U} - S\,l.$$

Mais $S = r\,s$, ce qui donne :

$$t' = \frac{r}{r-1} \times (a+z)\,sl\,H\ \text{log. nat.}\ \frac{r+U}{1+U} - r\,s\,l$$

ou :

$$t' = sl\,H\left(\frac{r\,(a+z)}{r-1}\ \text{log. nat.}\ \frac{r+U}{1+U} - \frac{r}{H}\right).$$

En exprimant que le travail par tour de roues, de l'effort tangentiel F′ à la circonférence des roues motrices, est égal à celui de 4 coups de pistons, on a :

Effort maximum théorique des grands cylindres :

$$\pi\,D\,F' = \pi\,d^2\,l\,H\left(\frac{r\,(a+z)}{r-1}\ \text{log. nat.}\ \frac{r+U}{1+U} - \frac{r}{H}\right)$$

d'où on tire :

$$F' = \frac{H\,d^2\,l}{D}\left(\frac{r\,(a+z)}{r-1}\ \text{log. nat.}\ \frac{r+U}{1+U} - \frac{r}{H}\right).$$

L'effort maximum théorique de traction de la machine est égal à $F + F'$; en le désignant par F_p, nous aurons :

Effort total théorique :

$$F_p = \frac{H\,d^2\,l}{D}\left[1 + \frac{a+z}{r-1}\ \text{log. nat.}\ \frac{r+U}{1+U} \times (r-1) - \frac{r}{H}\right]$$

d'où enfin :

$$[2] \qquad F_p = \frac{H\,d^2\,l}{D}\left[1 + 2{,}3026\ (a+z)\ \text{log.}\ \frac{r+U}{1+U} - \frac{r}{H}\right].$$

Cette formule, qui permet de comparer la puissance de démarrage des locomotives composées système Woolf, avec celle des locomotives simples, peut être considérée comme équivalente à l'équation : $F = \frac{P\,d^2\,l}{D}$ de ces dernières et peut être comparée également à la formule [6] que nous avons trouvée pour les loco-

motives compound proprement dites, et que nous rappelons ci-dessous, en y introduisant le facteur 2, pour la ramener au cas d'une machine à quatre cylindres :

$$[6] \qquad F_p = \frac{H\,d^2\,l}{D}\left(2 - \frac{r^2 + H}{r\,H}\right).$$

Si, dans la formule [2] que nous venons de calculer, on fait $r = 1$, ce qui suppose l'égalité des volumes des cylindres admetteurs et détendeurs, on n'arrive à la formule des locomotives simples qu'à la condition de faire en outre $U = o$, auquel cas la formule devient : $F_p = \frac{(H - 1)\,d^2\,l}{D}$ ou $F_p = \frac{P\,d^2\,l}{D}$, P étant la pression effective dans la chaudière.

C'est qu'en effet, si au point de vue de l'évaluation de la puissance on a pu négliger, dans le cas des locomotives compound, l'influence de la vapeur contenue dans les espaces nuisibles, sur la pression au réservoir intermédiaire, on se trouve, au contraire obligé, dans les locomotives Woolf, de tenir compte du travail de détente de la vapeur contenue dans les deux espaces nuisibles des cylindres successifs, et dans le réservoir intermédiaire qui ne peut être annulé complètement.

En remplaçant, dans la formule [2], H par sa valeur $P + 1$, et isolant $\frac{P\,d^2\,l}{D}$, on a :

$$[3] \qquad F_p = \frac{P\,d^2\,l}{D}\left[1 + 2{,}3026\,(a + z)\log.\frac{r + U}{1 + U} - \frac{r}{P + 1}\right]\left(1 + \frac{1}{P}\right).$$

L'effort de traction n'est donc pas proportionnel à la pression de la chaudière, ce qui était facile à prévoir, et pour une pression donnée, il est proportionnel au premier des facteurs entre parenthèses; or celui-ci varie rapidement lorsque r change de valeur. Il y a donc intérêt, à ce point de vue, et le cylindre admetteur étant donné, à adopter un rapport de volumes de cylindres un peu grand, conclusion conforme à celle que nous avons exprimée à propos des locomotives compound.

En attribuant à P et r, dans la formule [3] ci-dessus, les valeurs moyennes 12 *kg* et 2, 5, on arrive à l'expression :

$$[4] \qquad F_p = 1{,}64\,\frac{P\,d^2\,l}{D}.$$

Comparaison des puissances. — Nous avons précédemment comparé la puissance d'une locomotive simple à celle d'une locomotive compound ayant un seul cylindre de haute pression de même volume que l'un des cylindres de la première, et nous avons trouvé que les efforts de traction étaient dans le rapport de 1 à 0,75.

Pour comparer à l'une et à l'autre la puissance de démarrage d'une locomotive Woolf, il faut supposer que les cylindres admetteurs de celle-ci sont la moitié des cylindres de la locomotive simple, et prendre comme coefficient de la formule [4] $\frac{1,64}{2}$ ou 0,82, et on pourra dire que les locomotives composées, tout en dépensant moitié moins de vapeur qu'une machine simple, exercent des efforts qui, au maximum, et relativement au plus grand effort de celle-ci, sont comme 0,75 est à 1 pour la locomotive compound, et comme 0,82 est à 1 pour la locomotive Woolf.

Toutefois, il y a lieu de remarquer que le coefficient 0,75 peut être admis sans erreur notable, quelles que soient les conditions d'établissement de la machine compound, ce qui permet d'employer une formule des plus simples, tandis que le coefficient 0,82 ne doit pas être employé en dehors des conditions moyennes auxquelles il se rapporte, où il faut alors recourir à la formule [2].

Ces résultats, bien qu'ils s'appliquent seulement au cas spécial du plus grand effort de traction, font ressortir le caractère économique des locomotives composées, et si, dans cette comparaison, l'avantage reste aux locomotives Woolf, cela tient à ce que dans la marche à fond de course avec les deux cylindres successifs, elles utilisent la vapeur avec détente, et se rapprochent plus que les machines compound des circonstances habituelles de leur distribution avec admission réduite.

D'après ce que nous venons de dire, si on suppose une locomotive Woolf ayant 12 *kg* de pression effective, et des cylindres dans le rapport 2,5, ses cylindres de haute pression devraient être dans le rapport de $\frac{1}{1,64}$ ou 0,61 avec ceux de la locomotive ordinaire qui, toutes autres choses égales, développerait le même effort maximum. Pour une locomotive compound à quatre cylindres, ce rapport serait $\frac{1}{1,50}$ ou 0,67 ; c'est-à-dire que pour une même puissance maxima, les cylindres admetteurs de la machine Woolf devront être plus petits que ceux de la machine compound, mais cela, bien entendu, avec le fonctionnement composé, et à

l'exclusion de toute admission directe aux cylindres de basse pression.

En appliquant la formule [2] à la locomotive Woolf à quatre cylindres de la Compagnie du Nord décrite plus haut, on trouve : F_p = 12,650 *kg*. Ce résultat concorde entièrement avec l'effort maximum théorique de 12,500 *kg* que possèdent les locomotives ordinaires dont dérive la machine système Woolf. M. Du Bousquet s'était, en effet, imposé la condition de ne pas augmenter le travail par coup de piston, afin de pouvoir utiliser les pièces de mécanisme de la machine primitive.

LOCOMOTIVE COMPOUND A TROIS CYLINDRES N° 3 101
(Pl. 211, Fig. 1 à 4.)

Description de la machine. — Cette machine, étudiée par M. Edouard Sauvage, Ingénieur principal des Ateliers des Machines de la Compagnie du Nord, peut marcher indifféremment dans le système compound et dans le système ordinaire. Elle est à six roues couplées avec essieu porteur à l'avant, muni de boîtes radiales système Edmond Roy ; ses particularités principales, en dehors du principe Compound, sont : le timbre de la chaudière qui a été porté à 14 *kg*, et le système de distribution tout spécial du cylindre de haute pression. Elle possède un échappement fixe et une voûte en briques dans le foyer.

Les trois cylindres attaquent le second essieu accouplé. Le réservoir intermédiaire est formé par des chambres qui se trouvent de part et d'autre du cylindre intérieur. Son volume est égal à 2 fois 1/2 environ le volume de ce dernier. Pour éviter que le cylindre de haute pression ne soit baigné en partie dans la vapeur à moyenne pression que renferme le réservoir intermédiaire, ce qui aurait pu entrainer des condensations de la vapeur travaillante, on a appliqué à l'intérieur de ce cylindre une chemise en fonte autour de laquelle la vapeur de la chaudière peut être admise pour former enveloppe. Cette vapeur ne circule pas, et un robinet purgeur permet de laisser écouler l'eau de condensation.

Le coude manivelle, actionné par le cylindre intérieur de haute pression, est dirigé suivant la bissectrice de l'angle des manivelles extérieures que commandent les cylindres de basse pression. Cette locomotive est munie d'un frein à vapeur agissant sur la machine

et sur le tender, et des appareils moteurs du frein à vide qui existe sur le train.

Les cylindres extérieurs portent des tiroirs à canal; leur distribution est du système Walschaert; nous allons décrire celle du cylindre intérieur qui est nouvelle.

Distribution de M. Sauvage. — M. Sauvage, pour éviter l'inconvénient de la compression exagérée constatée sur la locomotive n° 701, a employé une distribution à deux tiroirs qui, tout en donnant à la période de compression une étendue d'autant plus grande que l'admission est plus courte, comme cela est nécessaire, permet, dans tous les cas, de diminuer beaucoup son importance. La figure 5, planche 210, indique la table du cylindre et les tiroirs de distribution. Le tiroir proprement dit porte des lumières qui traversent son épaisseur, et qui, perpendiculaires suivant A A, à l'axe du cylindre sur la face en contact avec sa table, changent de direction sur le dos du tiroir, et présentent en B B′ une obliquité de $\frac{1}{2}$. par rapport à la direction de A la division de la lumière en deux parties B et B′ n'ayant d'ailleurs d'autre objet que de ne pas exagérer la largeur de la pièce.

L'ouverture et la fermeture des lumières d'admission du cylindre se font par le passage des bords *a a′* des lumières du tiroir sur les arêtes de la table, désignées de même. Le second tiroir ou *taquet* est plein, et il a pour unique fonction de couper l'admission lorsque ses bords *b b′* viennent fermer les lumières B, B′.

Cette distribution ne comporte pas de coulisse ; le tiroir et le taquet ont des courses invariables et sont conduits par des excentriques dont les poulies sont calées, celle du premier avec l'angle d'avance nécessaire, et celle du second à 180° avec la manivelle motrice. Les variations d'admission sont obtenues en changeant la position du tiroir dans le sens transversal, à l'aide d'un mouvement de renvoi commandé par un levier dont on fixe la position au moyen d'un verrou sur un secteur à crans. Pour satisfaire à cette condition, le tiroir est monté dans deux cadres ; le premier, qui est le plus rapproché du cylindre, le conduit à la manière ordinaire, et il est allongé dans le sens transversal ; le second, qui sert à donner le déplacement en travers, est allongé dans le sens longitudinal de la valeur de la course. Le croquis représente le tiroir dans sa position transversale moyenne ; son axe coïncide

avec celui de la table du cylindre. Si on déplace le tiroir vers le côté droit de la machine, les bords extérieurs des lumières B B′ se trouvent plus rapprochés des bords du taquet, et l'admission finit plus tôt; si on le déplace vers le côté gauche, l'admission est au contraire plus longue. Des évidements pratiqués sur le dos du tiroir, et sur la face du taquet, augmentent, à la fin de l'admission, la section de passage de la vapeur, à la manière du canal de Trick.

L'échappement se fait par la lumière centrale LL du cylindre et par la coquille *cc* du tiroir; il commence ou finit lorsque les arêtes *d d′* de cette coquille rencontrent les bords correspondants et de même inclinaison de la lumière LL; aussi le déplacement transversal du tiroir fait-il varier les recouvrements, et par suite la durée de la compression, en même temps que celle de l'admission. Cette disposition de l'échappement distingue la distribution de M. Sauvage des autres distributions à deux tiroirs, notamment de celle de Meyer à laquelle on peut la comparer au point de vue de l'introduction, et l'on conçoit que par des proportions convenables du tiroir, on soit libre de choisir la durée de la compression, indépendamment de celle de l'admission.

Lorsqu'on déplace le tiroir vers la gauche, de manière à augmenter progressivement l'admission, il arrive un moment où le taquet ne ferme plus les lumières, et si on l'amène à sa position extrême, pour laquelle son arête *ee* vient en *e′e′* sur la table du cylindre, la vapeur pénètre en D par la lumière d'échappement, et se rend directement aux cylindres extérieurs; le piston du cylindre interieur, recevant la même pression sur les deux faces, se trouve annulé, et la machine fonctionne comme une locomotive ordinaire. Pour la marche en arrière, on est obligé de donner au tiroir la position extrême dont nous venons de parler; la machine ne peut, dans ce cas, fonctionner qu'en compound.

La locomotive 3101 possède une grande puissance de démarrage, à cause de la pression élevée de la chaudière, et de la possibilité d'admettre directement la vapeur sur les grands pistons; son effort maximum pratique de traction est celui qui correspond au poids adhérent de 40,6 *t*. Le fonctionnement compound, pour lequel l'admission maxima au cylindre de haute pression est de 62 0/0, lui donne un effort théorique de 9 440 *kg* et un effort pratique de 7 270 *kg* à la circonférence des roues motrices (1), d'où un rapport de $\frac{1}{6}$ avec le poids adhérent.

(1) En admettant le coefficient de 0,77.

Si par son adhérence et sa force, cette machine était apte à faire le service des marchandises, le diamètre de ses roues accouplées (1,650 *m*) devait lui permettre de faire aussi celui des trains omnibus. Depuis sa mise en service, qui a eu lieu au mois de décembre 1887, elle a été, en effet, utilisée à ces deux sortes de trains; on a constaté qu'elle démarrait très facilement et que la production de sa chaudière était bonne. Les diagrammes d'indicateur montrent que la pression se maintient bien pendant l'admission au cylindre de haute pression, conséquence de l'ouverture des lumières, plus grande que celle donnée par la distribution à un seul tiroir; d'ailleurs, la courbe des vitesses théoriques de la vapeur traversant ces orifices, comparée à celles des autres machines (voir le graphique au commencement de ce mémoire, page 806) montre qu'il doit en être ainsi.

Les charges des trains de marchandises ont été augmentées successivement jusqu'à celle de 630 *t* que la machine a remorquée à la vitesse de 20 *km* à l'heure, sur rampes de 5 ^{mm}. Un essai d'un autre genre a été fait avec une charge moindre; un train de charbon de 550 *t* a été amené de Lens à La Chapelle en 6^{h}30^{m} de marche pour un parcours de 210 *km*, vitesse supérieure à celle des trains de marchandises. Il n'a pas été fait d'expériences comparatives sur la consommation de charbon de cette machine et sur celle des locomotives de même puissance. La consommation de vapeur de l'enveloppe du cylindre de haute pression n'a pas été évaluée, on a seulement constaté qu'elle était peu importante. Ces diverses expériences ont été interrompues par l'envoi de la machine à l'Exposition.

LOCOMOTIVE COMPOUND A CYLINDRES ÉGAUX

D'après ce que nous avons dit précédemment, si on transforme une locomotive simple en compound, en remplaçant un des cylindres par un autre de volume double, l'expansion totale reste la même; mais on peut supposer une augmentation de volume moindre que celle-ci, auquel cas, on a une expansion réduite, tout en conservant les caractères du principe compound, et cela jusqu'à la limite de réduction de volume consistant à employer un cylindre de basse pression égal à celui de haute pression, ce qui donne le rapport 1, possible comme les autres, et ce qui revient à admettre la vapeur dans un cylindre seulement d'une machine ordinaire, en diminuant de moitié l'expansion totale. On a alors

la locomotive compound à cylindres égaux; mais pour que son fonctionnement soit rationnel, il faut, nous l'avons vu, que le volume de la vapeur admise au second cylindre soit sensiblement égal au volume du premier, c'est-à-dire que l'admission ait lieu au maximum dans le cylindre détendeur. De plus, ainsi que nous l'avons remarqué à propos du calcul de l'effort maximum de traction, l'hypothèse de l'égalité de volume des cylindres revient a annuler le premier lorsqu'il reçoit la vapeur pendant toute la course, la pression au réservoir intermédiaire se trouvant alors théoriquement égale à celle de la chaudière.

Pratiquement, en raison de l'avance à l'échappement et de la petite quantité de vapeur conservée pour la compression, on devrait recueillir un certain travail effectif dans le cylindre de haute pression, mais en réalité, ceci n'a généralement pas lieu à cause du travail négatif anormal qui résulte d'une compression anticipée et par suite exagérée. L'admission à fond de course dans les deux cylindres revient donc bien à la marche avec un seul, et la marche en compound n'est réelle qu'avec une admission partielle au cylindre de haute pression.

Ceci étant posé, il nous reste à parler de l'appareil dit « *anisométrique* », de M. de Landsée. Les résultats qu'il a fournis sont insérés dans *la Revue générale des Chemins de fer* (1), en même temps qu'un extrait des articles publiés dans *l'Organ*, par M. Middelberg, ingénieur en chef de la traction à la Compagnie Royale des chemins de fer hollandais, sur des locomotives compound de son système ayant deux cylindres de même diamètre, à courses égales ou inégales. Toutefois, le présent Mémoire serait incomplet si nous ne disions quelques mots du système de M. Landsée, expérimenté à la Compagnie du chemin de fer du Nord, et intéressant par son analogie apparente avec le système compound dont il diffère par un point essentiel.

APPAREIL ANISOMÉTRIQUE DE M. DE LANDSÉE

L'appareil proposé en 1886 à la Compagnie du Nord par M. de Landsée, avait pour objet d'améliorer l'utilisation de la vapeur sur les locomotives ordinaires, sans leur faire subir de modification, et en conservant le changement de marche unique pour commander les deux tiroirs de distribution. Il a été installé sur la machine n° 79, qui est une ancienne locomotive type Stephenson,

(1) Numéro de mai 1889.

à quatre roues couplées, transformée en machine tender pour faire le service des trains tramways, et dont les principales conditions d'établissement sont les suivantes :

Timbre de la chaudière	5 *kg.*
Diamètre des cylindres	0,380 *m*
Course des pistons	0,560 *m*
Diamètre des roues accouplées	1,739 *m*
Poids adhérent de la machine en charge.	15,300 *t*

L'appareil anisométrique consiste simplement en une boite placée à l'avant de la machine, et renfermant un papillon et un tiroir distributeur, qui peuvent être manœuvrés tous deux à distance, par le mécanicien (Pl. 211, Fig. 5 et 6).

Suivant la position donnée au distributeur, analogue à celui employé par M. Mallet sur ses premières locomotives compound, la vapeur de la chaudière est admise, soit à la manière ordinaire dans les deux cylindres échappant à l'air libre, soit seulement dans le cylindre de gauche dont la vapeur d'échappement se rend au cylindre de droite, après avoir passé par le distributeur, puis par un tuyau qui forme le réservoir intermédiaire, et qui est contenu dans la boite à fumée.

Ce que nous venons de dire, au sujet du fonctionnement compound avec cylindres égaux, montre que la marche anisométrique est rationnelle seulement dans le cas où le changement de marche se trouve à fond de course, et encore le travail effectif du cylindre admetteur est-il à peu près nul. Avec une admission partielle et toujours la même de part et d'autre, celle du cylindre de basse pression est insuffisante pour débiter la vapeur que reçoit le réservoir intermédiaire. Le travail effectif au cylindre admetteur devient alors généralement négatif par suite de la compression excessive qui s'y exerce, circonstance nuisible à la bonne marche de la machine. La locomotive n° 79, qui a fait quelque temps le service avec le système anisométrique tel que l'avait proposé M. de Landsée, se trouvait cependant, par l'importance des espaces nuisibles, qui ont 9,6 0/0 du volume des cylindres, et par la faible pression de la chaudière, dans des conditions favorables relativement à la compression dans le premier cylindre.

Pour remédier à l'inconvénient que nous venons de signaler, on a rendu les distributions indépendantes, de manière à pouvoir laisser celle du cylindre détendeur toujours au maximum d'admission. Dès lors, le fonctionnement du système s'est trouvé

beaucoup amélioré au double point de vue de la marche et de la consommation de combustible. Le fonctionnement à la manière ordinaire, et celui que donne l'appareil anisométrique avec admissions égales aux deux cylindres entraînaient à peu près la même consommation ; avec les distributions indépendantes, on a immédiatement constaté une économie de charbon de 10 à 12 0/0, en remorquant sur un profil facile une seule voiture tramway du poids de 16 *t*, ce qui permettait de n'admettre toujours la vapeur de la chaudière que dans un seul cylindre. Cette économie, qui n'est pas très élevée en elle-même, nous paraît cependant fort importante à noter. On remarquera d'abord qu'elle est due entièrement au fonctionnement compound réalisé par l'indépendance des distributions. En second lieu, si on compare ce fonctionnement à celui de la machine à simple expansion, on trouve qu'une admission de 25 0/0 dans les deux cylindres de celle-ci, nécessaire pour produire le travail moyen demandé à la machine, correspond à 50 0/0 d'admission dans un seul cylindre avec la marche en compound, et que l'expansion, qui est de quatre volumes dans le premier cas, si on néglige l'influence des espaces nuisibles, se trouve être de deux volumes seulement dans le second.

C'est donc en réduisant l'expansion de près de moitié qu'on a obtenu une économie sensible de charbon, et on ne peut voir là qu'une démonstration, indirecte mais très caractéristique, de l'avantage des longues admissions pour réduire la perte de vapeur par condensation. Ainsi se trouvent vérifiées les prévisions de M. Mallet qui a toujours attribué, dans le résultat économique du principe compound, plus d'importance à la diminution de la condensation qu'à l'accroissement de la détente, et qui d'ailleurs avait prévu cette marche en compound avec les locomotives ordinaires, pour les cas spéciaux où elles se trouveraient de ne jamais utiliser leur puissance totale de traction.

CONCLUSION

Nous nous sommes efforcé, dans tout ce qui précède, de faire ressortir les divers avantages qu'on peut attendre de l'application du principe compound aux locomotives. Nous ne croyons pas qu'on puisse opposer à ces avantages très réels des inconvénients sérieux, et cette observation s'applique à la fois au fonctionnement compound proprement dit et au fonctionnement Woolf. Toutefois, il faut reconnaître que, malgré leur analogie et certains avantages spéciaux à ce dernier, on pourra être conduit à préférer le premier; dans les machines Wolff, la pression beaucoup plus faible, à laquelle, toutes choses égales d'ailleurs, la vapeur se trouve ramenée à la fin de l'échappement du premier cylindre, paraît en effet susceptible de diminuer l'avantage thermique d'une moindre condensation à l'admission, et il semble bien établi que cette condensation est la principale cause de dépense anormale de vapeur dans les locomotives à simple expansion.

Après les nombreuses applications aux locomotives, du système compound, à réservoir, qui, sous diverses formes et pour des types de machines très différents, a fourni des résultats presque toujours concordants et avantageux, on ne peut objecter à son extension, ni la complication facile à éviter, ou en tous cas, plus apparente que réelle, ni les dépenses d'entretien, puisque même en augmentant le nombre des cylindres, on arrive à avoir moins de remplacements des pièces les plus sujettes à usure, ni la différence des efforts de propulsion, ni l'insuffisance de l'échappement. Pour répondre à ces deux dernières objections applicables spécialement aux locomotives compound à deux cylindres, il suffirait de citer l'exemple des machines de M. Worsdell, et de rappeler, d'après les résultats publiés par M. Sauvage dans *la Revue Générale des Chemins de fer* (1), le remarquable service des trains rapide d'Écosse qu'elles font entre York et Newcastle, concurremment avec les locomotives du North Eastern Railway ayant des cylindres de même diamètre que le cylindre de haute pression des locomotives compound. Les vitesses obtenues avec ces deux types de machines semblent n'avoir eu d'autre limite que celle imposée par la pro-

(1) N° de janvier 1889 déjà mentionné à propos des grandes vitesses moyennes de marche. Le présent mémoire était rédigé lorsque nous avons eu connaissance de la conférence faite sur ce sujet à l'Association française pour l'avancement des sciences, par notre collègue M. Bandérali qui s'est attaché à en faire ressortir l'importance (*Revue scientifique*, nos du 18 mai et du 1er juin 1889).

duction de vapeur, suffisante pour l'une et pour l'autre; mais, si on venait à augmenter les charges, ou si la qualité du charbon baissait, il paraît certain que là où les machines ordinaires faibliraient, le service serait encore assuré par ces locomotives compound qui présentent tous les caractères des locomotives Mallet, à cela près de la *Starting valve*, ou valve de démarrage, différente du tiroir distributeur.

Le principe compound est d'ailleurs un perfectionnement qui n'exclut pas les autres, et avec lequel peuvent se concilier les conditions diverses d'établissement ou de conduite des locomotives. Il est tout indiqué pour l'emploi des pressions élevées. Le laminage systématique de la vapeur par le régulateur, proposé parfois comme moyen d'améliorer son utilisation, en la rendant moins humide avant son entrée dans les cylindres, et en permettant l'emploi d'admissions plus prolongées, n'est guère en rapport avec la puissance toujours croissante qu'on attend aujourd'hui des locomotives, quel que soit le service auquel on les destine. D'ailleurs, dans la mesure où on peut conseiller l'emploi du laminage de la vapeur par le régulateur, ce moyen s'applique aussi bien et mieux encore aux locomotives compound qu'aux autres machines, le trajet de la vapeur, plus long dans les premières, devant permettre d'une manière plus certaine l'utilisation des calories devenues disponibles.

Quant à l'effort de traction, il peut toujours être rendu comparable dans les deux types de machines par l'emploi, dans les locomotives composées, de l'admission directe sur les grands pistons, à laquelle on n'a besoin de recourir qu'au démarrage, ou très exceptionnellement en marche ; nous ajouterons que le fonctionnement compound, sans admission directe, est susceptible de procurer une puissance de traction aussi considérable qu'on le voudra.

Les tentatives de toutes sortes, faites encore aujourd'hui pour améliorer le rendement des chaudières de locomotives et augmenter la vaporisation produite par un poids donné de combustible, témoignent de l'importance d'un système dont l'application procure une notable économie de vapeur.

Les locomotives compound sont incontestablement entrées dans la pratique, surtout, il faut bien le constater, à l'étranger. Si certaines difficultés peuvent encore surgir dans leur étude ou dans leur service, nous pensons qu'il faut s'attacher à les vaincre et non à écarter le système, nous pensons enfin que le moment est bien venu de demander au principe compound, pour les locomotives, tout ce qu'il peut renfermer de précieuses ressources.

LOCOMOTIVE COMPOUND N° 701

Conditions principales d'établissement

Annexe n° 1.

CHAUDIÈRE

Grille	Longueur horizontale	$2^m,270$
	Largeur	1,000
	Surface	$2^{m2},27$
Foyer	Longueur intérieure en haut	$2,195^5$
	Largeur intérieure en haut	1,055
	Largeur intérieure en bas	1,000
	Hauteur du ciel du foyer au-dessus du cadre à l'AR.	1,010
	Hauteur du ciel du foyer au-dessus du cadre à l'AV.	1,580
	Hauteur du ciel du foyer à l'axe de la chaudière	0,200
Boîte à feu extérieure	Longueur	2,470
	Largeur en haut	1,280
	Largeur en bas	1,200
Corps cylindrique	Diamètre intérieur moyen	$1,236^5$
	Épaisseur des tôles	$0,014^5$
	Hauteur de l'axe au-dessus des rails	2,150
Tubes	Nombre	204
	Diamètre extérieur	$0^m,045$
	Longueur entre les plaques tubulaires	3,560
Surface de chauffe	du foyer	$9^{m2},50$
	des tubes à l'intérieur	$93^{m2},530$
	totale	$103^{m2},03$
Rapport	Surface des tubes à celle du foyer	9,8
	Surface de chauffe à celle de la grille	45,3
Timbre de la chaudière en kilog.		11^{kg}
Pression maxima ou réservoir intermédiaire		$5^{kg},75$
Soupapes	Diamètre	0,100
	Longueur du grand levier	0,935
	Longueur du petit levier	0,085
	Rapport	1:11
	(Adam's) diamètre	0,070
Cheminée	Diamètre en haut	0,480
	Diamètre en bas	0,390
	Hauteur au-dessus des rails	4,165
Rapport de la surface de grille à la section de la cheminée		15,2
Boîte à fumée	Diamètre intérieur	1,410
	Longueur intérieure	0,775
Capacité de la chaudière	Eau 10cm au-dessus du ciel du foyer	$3^{m3},090$
	Vapeur	$2^{m3},860$
	Totale	$5^{m3},950$

CHASSIS ET ROUES

		Intér	Extér
Longueur totale du châssis, tampons compris		$8^m,935$	
Longueur totale du longeron		8,190	
Écartement intérieur des longerons		1,240	
Hauteur des longerons au-dessus des rails		1,400	
Hauteur du dessus du longeron à l'axe de la chaudière		0,750	
Longueur de la traverse d'avant		2,510	
Hauteur des tampons d'avant au-dessus des rails		0,980	
Diamètre des roues au contact	1er	1,300	
	2e	2,100	
	3e	2,100	
Écartement des essieux	1er au 2e	3,000	
	2e au 3e	2,500	
Écartement des essieux extrêmes		5,500	
Diamèt. des essieux au corps	1er	0,170	
	2e	0,190	
	3e	0,180	
D'axe en axe des fusées	1er	1,170	
	2e	1,170	
	3e	1,170	
Fusées des essieux 1er	Diamètre	0,175	
	Longueur	0,240	
Fusées des essieux 2e	Diamètre	0,185	
	Longueur	0,240	
Fusées des essieux 3e	Diamètre	0,185	
	Longueur	0,240	
Tourillons des manivelles motrices	Diamètre	0,190	0,095
	Longueur	0,090	0,100

MÉCANISME

		HAUTE pression	BASSE pression
Cylindres	Écartement d'axe en axe	$0^m,620$	$0^m,900$
	Diamètre	$0^m,330$	$0^m,460$
	Course des pistons	$0^m,610$	$0^m,610$
	Inclinaison sur l'horizontale	0	0
	Section du tuyau de prise de vapeur	4417^{mm2}	17671^{mm2}
	Section du tuyau d'échappement	17671^{mm2}	20000^{mm2}
Bielles motrices	Longueur d'axe en axe	1,820	2,500
	Tourillons des petites têtes Longueur	0,070	0,070
	Tourillons des petites têtes Diamètre	0,060	0,060
Rapport de la longueur de la bielle motrice à la manivelle		5,9	8
Inclinaison des tiroirs sur l'axe des cylindres		0	0
Excentriques	Angle d'avance	24°	0
	Rayon d'excentricité	0,050	0,100
	Longueur des barres	1,665	1,560
Course des tiroirs		0,096	0,090
Longueur des lumières (admission, échappement)		0,250	0,330
Largeur des lumières	Admission	0,030	0,040
	Échappement	0,060	0,080
Recouvrement total des tiroirs	Extérieur	0,042	0,054
	Intérieur	-0,008	0
Effort de traction		5030^{kg}	
Poids de la machine	Vide	$34^t,800$	
	En charge	$37^t,800$	
Répartition du poids par essieu, en charge	1er essieu	$10^t,200$	
	2e essieu	$13^t,650$	
	3e essieu	$13^t,950$	
Poids utile pour l'adhérence		$27^t,600$	

RESSORTS DE SUSPENSION

DÉSIGNATION des essieux	FEUILLES Nombre	FEUILLES Dimension	Écartement	RAYON de fabrication	FLÈCHE de fabrication	CORDE de fabrication	CHARGE d'épreuve
1er essieu	13	90 12	40	$1,305^5$	0,080	0,900	11400^{kg}
2e et 3e essieux	13	90 12	40	$1,305^5$	0,080	0,900	11400^{kg}

LOCOMOTIVE COMPOUND N° 3101

Conditions principales d'établissement. **Annexe n° 2.**

CHAUDIÈRE		
Grille	Longueur horizontale	2,174
	Largeur	0,962
	Surface	$2^{m2},091$
Foyer	Longueur intérieure en haut	2,130
	Largeur intérieure en haut	1,046
	Largeur intérieure en bas	0,962
	Hauteur du ciel du foyer — au-dessus du foyer	1,530
	Hauteur du ciel du foyer — à l'axe de la chaudière	0,200
Boite à feu extérieure	Longueur	2,400
	Largeur en haut	1,432
	Largeur en bas	1,176
Corps cylindrique	Diamètre intérieur moyen	1,346
	Epaisseur des tôles	0,018
	Hauteur de l'axe au-dessus des rails	2,225
Tubes	Nombre	208
	Diamètre extérieur	0,045
	Longueur entre les plaques tubulaires	4,000
Surface de chauffe	du foyer	$9^{m2},30$
	des tubes à l'intérieur	$104^{m2},50$
	totale	$113^{m2},80$
Rapport	Surface des tubes à celle du foyer	11,2
	Surface de chauffe à celle de la grille	54.4
Timbre de la pression en kilogrammes		14^{kg}
Soupapes Adams. — Diamètre		0,054
Cheminée	Diamètre intérieur en bas	0,420
	Diamètre intérieur en haut	0,480
	Hauteur au-dessus des rails	4,175
Rapport de la surface de grille à la section de la cheminée		13
Boite à fumée	Diamètre intérieur	1,400
	Longueur intérieure	0,830
Capacité de la chaudière	Eau, 10 cent. au-dessus du ciel du foyer	$4^{m3},430$
	Vapeur	$2^{m3},190$
	Totale	$6^{m3},520$

CHASSIS ET ROUES		
Longueur totale du châssis, tampons compris		10,400
Longueur totale du longeron		9,398
Ecartement intérieur des longerons		1,220
Hauteur des longerons au-dessus des rails		1,400
Hauteur du dessus au longeron à l'axe de la chaudière		0,825
Longueur de la traverse d'avant		2,780
Hauteur des tampons d'avant au-dessus des rails		0,980
Diamètre des roues au contact	1er	1,010
	2e, 3e et 4e	1,650
Ecartement des essieux	1er au 2e	2,530
	2e au 3e	2,100
	3e au 4e	2,000
Ecartement des essieux extrêmes		0,630
Diamètre des essieux au corps	1er	0,150
	2e et 4e	0,160
	3e	0,200
D'axe en axe des fusées	1er	1,100
	2e et 4e	1,100
	3e	1,100
Fusées des essieux	1er — Diamètre	0,150
	1er — Longueur	0,250
	2e et 4e — Diamètre	0,170
	2e et 4e — Longueur	0,250
	3e — Diamètre	0,200
	3e — Longueur	0,250
Tourillons des manivelles motrices extérieures	Diamètre	0,115
	Longueur	0,140
Bielles d'accouplement	2e — Diamètre	0,095
	2e — Longueur	0,086
	3e — Diamètre	0,150
	3e — Longueur	0,100
	4e — Diamètre	0,090
	4e — Longueur	0,120
Rayon des manivelles d'accouplement		0,350
Tourillon de la manivelle motrice intérieure	Diamètre	0,200
	Longueur	0,120

MÉCANISME			HAUTE pression	BASSE pression
Cylindres	Ecartement d'axe en axe		»	2,100
	Diamètre		0,432	0,500
	Course des pistons		0,700	0,700
	Inclinaison sur l'horizontale		1/10	0
	Section du tuyau de prise de vapeur		9503^{mm2}	9503^{mm2}
	Section du tuyau d'échappement		9503^{mm2}	17671^{mm2}
Bielles motrices	Longueur d'axe en axe		2,120	2,120
	Tourillons des petites têtes	Longueur	0,078	0,090
		Diamètre	0,075	0,095
Rapport de la longueur de la bielle motrice à la manivelle			6	6
Inclinaison des tiroirs sur l'axe des cylindres			0	0
Excentriques	Angle d'avance	Tiroir	49°	0
		Taquet	118°	0
	Rayon d'excentricité		0,040	0,0925
	Longueur des barres	Tiroirs	1,1675	1,090
		Taquet	1,005	»
Longueur des lumières (admission, échappem^t)				0,340
Largeur des lumières		Admission		0,045
		Echappement		0,075
Recouvrement total des tiroirs		Extérieur		0,014
		Intérieur		0,002
Effort de traction maximum théorique (Compound)			9440^{kg}	
Poids de la machine		Vide	$43^t,650$	
		En charge	$47^t,400$	
Répartition du poids par essieu, en charge		1er essieu	$6^t,800$	
		2e essieu	$13^t,400$	
		3e essieu	$14^t,000$	
		4e essieu	$13^t,200$	
Poids utile pour l'adhérence			$40^t,600$	

RESSORTS DE SUSPENSION

DÉSIGNATION des essieux	FEUILLES Nombre	FEUILLES Dimension	Étagement	RAYON de fabrication	FLÈCHE de fabrication	CORDE de fabrication	CHARGE d'épreuve
1er essieu	12	75/10	0,040	2,000	0,045	0,834	6250^{kg}
2e, 3e et 4e ess.	12	90/12	0,050	2,000	0,065	0,985	8640^{kg}

CHRONIQUE

N° 113.

SOMMAIRE. — Le paquebot *City of Paris*. — Pont sur le Saint-Laurent. — Production minérale dans la Grande-Bretagne. — Production des alliages d'aluminium par l'électricité.

Le paquebot *City of Paris*.— Nous avons, dans la Chronique d'août 1888, page 346, donné quelques détails sur le grand paquebot *City of New-York* de la ligne Numau, sur lequel on avait fondé des espérances qui ne se sont qu'en partie réalisées jusqu'ici. Le navire jumeau, le *City of Paris* a brillamment réussi du premier coup, en effectuant la traversée d'Angleterre aux États-Unis en moins de 6 jours, exactement 5 jours, 23 heures et 7 minutes (1). Le problème qui avait été posé se trouve ainsi résolu.

Les questions concernant le tracé des lignes des grands paquebots transatlantiques et la résistance des carènes sont assez connues aujourd'hui pour qu'on puisse calculer très exactement que, pour assurer cette vitesse à un grand navire ayant les proportions générales de ces paquebots, il fallait développer une puissance de 18 000 à 20 000 chevaux indiqués. Le problème se réduisait en réalité à l'étude d'un moteur aussi puissant. Avec des forces aussi considérables il est nécessaire de réaliser la plus grande économie possible, de réduire les poids et l'encombrement à ses dernières limites et de tirer parti de tous les progrès.

Toutes ces considérations ainsi que la question de sécurité ont conduit à l'adoption de deux hélices actionnées chacune par un moteur à triple expansion auquel la vapeur est fournie par des chaudières à tirage forcé.

Il nous parait intéressant d'entrer dans quelques détails sur les appareils moteurs du *City of Paris*.

Ce navire a 170,80 *m* de longueur totale, et 161,65 *m* entre perpendiculaires, 19,25 *m* de largeur et 13,11 de creux; le tirant d'eau atteint 7,85 *m* et le tonnage est de 10 500 *t*.

Il y a deux hélices de bronze à trois ailes de 5,49 *m* de diamètre et 8,70 de pas moyen.

Chaque propulseur est actionné par une machine à triple expansion à trois cylindres placés les uns à côté des autres dont la course est de 1,525 *m* et les diamètres respectifs, haute pression, 1,214, intermédiaire, 1,796 et basse pression, 2,889. Les volumes successifs sont ainsi 1, 2,19 et 5,55.

Les cylindres ont tous des tiroirs à pistons mus par des coulisses ordinaires. Tous ces tiroirs ont le même diamètre 0 750 *m*; mais le nombre varie selon les cylindres; ainsi le cylindre à haute pression a un seul

(1) La traversée de retour de New-York à Queenstown (arrivée à ce dernier port le 21 mai) a été effectuée en 5 jours, 22 heures et 10 minutes.

tiroir, le cylindre intermédiaire en a deux et le grand cylindre quatre; cette multiplication permet de conserver des tiroirs de dimensions modérées.

La vapeur qui sort des cylindres à haute pression passe dans un réservoir et de là au cylindre intermédiaire, puis dans deux réservoirs réunis par un tuyau de communication et alimentant le cylindre à basse pression. Toutes les coulisses de distribution sont mues par une même machine de renversement de marche, mais chacune peut être ajustée séparément.

Les parois cylindriques des cylindres et des boites à tiroirs à sont enveloppes de vapeur avec communication directe avec la chaudière, mais en service courant on se borne à amener la vapeur fraiche à l'enveloppe du cylindre à haute pression et à la faire de là passer dans les autres enveloppes. L'eau condensée s'écoule dans des réservoirs évacuant à la bâche.

Les coudes des trois machines sont calés à 120 degrés les uns par rapport aux autres.

Les tiges de pistons ont 0,306 de diamètre, les arbres et boutons de manivelle 0,556, la longueur de ces derniers est de 0,708 et la surface de portée du patin de la tête de tige de piston de 89 dm^2. Les pompes à air sont actionnées par des balanciers reliés aux tiges de pistons et la circulation s'opère par deux pompes centrifuges de Gwynne.

Toutes les manœuvres du navire, treuils, cabestans, gouvernail, etc. s'opérent par la pression hydraulique produite par deux machines compound agissant sur les pompes de compression et maintenant la pression nécessaire d'une manière automatique.

L'appareil de vaporisation se compose de 9 chaudières doubles, à 6 foyers chacune, soit un total de 54 foyers. Chaque chaudière a 5,64 *m* de longueur, sur un diamètre de 3,965. Les enveloppes en tôle d'acier ont 31,6 *mm* d'épaisseur.

Les foyers sont en tôle d'acier ondulé de 10,5 *mm* d'épaisseur, leur diamètre est de 1,220 *m*. Chaque grille a une surface de 2,60 m^2, ce qui donne une surface totale de grille de 140,4 m^2. Il y a trois cheminées et quatre chaufferies ayant entre elles des coursives fermées par des portes étanches, 12 ventilateurs Tangye y amènent l'air qui effectue la combustion sous pression.

Les chaudières fonctionnent à 10,5 *kg*. de pression effective; les pressions moyennes réalisées dans les cylindres sont : haute pression, 10,3 *kg*, intermédiaire 4,25, basse pression, 0,50 à 0,70.

Le vide est en moyenne de 0,683 de mercure (27 pouces), le nombre de tours de 87 à 88 à la minute. L'alimentation des chaudières se fait par des pompes à vapeur Worthington et l'eau avant d'arriver aux générateurs traverse un réchauffeur chauffé par de la vapeur vive qui élève sa température à 135 degrés. Cette disposition n'a point pour objectif l'économie; elle est adoptée en vue de ménager les chaudières en évitant les dilatations et contractions qui se produisent lorsqu'on alimente à l'eau froide. On emploie également un vaporisateur pour obtenir de l'eau douce par l'évaporation de l'eau de mer dans le vide, avec un serpentin chauffé à la vapeur.

Il n'est pas inutile de dire un mot du personnel appelé à surveiller et manœuvrer ces puissantes machines. Ce personnel est divisé en trois postes. Le mécanicien en chef a la direction générale et chaque poste ou quart a à sa tête un second mécanicien qui a le commandement du quart, il a sous ses ordres deux troisièmes mécaniciens, un dans la machine, l'autre dans les chaufferies, deux quatrièmes mécaniciens, un aux ventilateurs, l'autre aux chaufferies, et un cinquième mécanicien dans celles-ci. C'est donc un total de 19 mécaniciens. Il y a en plus un homme pour surveiller l'alimentation dans chaque chambre de chauffe.

On avait prévu une consommation de 400 tonneaux de charbon par jour pour produire les 20 000 chevaux nécessaires, ce qui correspondait à 0,85 *kg* par cheval indiqué et par heure. D'après les relevés faits dans les premières traversées, la consommation moyenne n'a pas dépassé 300 tonneaux par 24 heures pour une puissance moyenne de 20 700 chevaux. Ces quantités correspondent à 12 685 *kg* brûlés à l'heure, 90 *kg* par mètre carré de grille et par heure, 0,613 *kg* par cheval indiqué et par heure, et enfin 147 chevaux par mètre carré de grille. Avec 4,650 m^2 de surface de chauffe, chaque mètre carré produit 4,45 chevaux.

Ces résultats indiquent la grande efficacité de la machine à triple expansion.

L'*Etruria*, un des plus rapides navires muni de machines compound, a 72 foyers dont chacun a la même surface de grille que dans le *City of Paris*, mais sa puissance totale ne dépasse pas 14 000 chevaux indiqués de sorte qu'on n'obtient d'un mètre carré de grille que la moitié à peu près de la puissance développée dans l'autre navire.

Les parcours moyens réalisés dans le dernier voyage du *City of Paris* sont les suivants :

3	Mai	445	milles de	1852 *m*
4	»	492	»	»
5	»	504	»	»
6	»	505	»	»
7	»	511	»	»
8	»	498	»	»
Total.		2 855	»	»

Vitesse moyenne du voyage 19,95 à l'heure
» » du 7 Mai 21,29 » (1)

On sait que le *City of Paris*, de même que le *City of New York* ont été construits par MM. J. et. G. Thompson, à Clyde bank près Glasgow.

En dehors du résultat matériel du transport à grande vitesse d'un paquebot de fort déplacement, résultat que l'intervention d'un assez grand nombre de facteurs rend très complexe, on se fait difficilement une idée de ce que représente une puissance de 20 700 chevaux indiqués. Les chiffres suivants se rapportant, au moins quelques-uns, à des faits d'actualité, nous paraissent intéressants à rapporter.

Nous donnerons d'abord quelques résultats dans l'ordre technique.

(1) Le parcours encore un peu plus élevé de 515 milles par vingt-quatre heures a été atteint dans le voyage de l'Angleterre aux Etats-Unis, terminé le 5 juin. Ce parcours correspond à une vitesse moyenne de 21,45 milles à l'heure.

A 88 tours par minute, la vitesse des pistons est de 4,47 *m* par seconde ; la vitesse maxima, qui est sensiblement celle dé la manivelle, atteint, au milieu de la course, le taux de 7,02 *m* par seconde.

Le volume de chaque grand cylindre est de 9,79 m^3 soit 19,57 pour les deux. Le volume débité par les pistons, par seconde, pour 88 tours, est donc de 57,41 m^3, ce qui donne un volume de 166 *l* par cheval indiqué et par minute.

A 88 tours par minute, les hélices font, en 24 heures, 126720 tours et, en 6 jours, 760320 tours. Or, les hélices ayant 17,28 *m* de circonférence, l'extrémité des ailes parcourt 25,40 *m* par seconde ou 91,440 *m* à l'heure. Le chemin parcouru en 6 jours ne s'éléverait pas à moins de 13164 *km*, soit presque le tiers du tour de la terre.

C'est par l'expression simple du kilogrammètre, c'est-à-dire un kilogramme élevé à un mètre de hauteur en une seconde, qu'on se rend le mieux compte de la valeur d'un travail. Une puissance de 20700 chevaux, soit 1 552 500 *kgm* permettrait théoriquement et appliquée idéalement à des engins de levage appropriés à lever le poids de métal représenté par la tour de 300 *m* de l'Exposition, soit, dit-on, 7500 *t* à la hauteur de 300 *m* dans la durée de 25 minutes. En faisant la part des frottements de la machine et de l'appareil de levage, on pourrait compter une heure.

Nous avons vu plus haut que la consommation de charbon s'élevait a 300 *t* par jour, soit 1 800 *t* par voyage. En comptant 8,5 *kg* de vapeur par kilogramme de charbon, ce qui n'est certes pas exagéré, puisqu'on n'arriverait ainsi qu'à 5,21 *kg* de vapeur par cheval indiqué et par heure, on trouverait qu'il entre dans les chaudières 30 *l* d'eau par seconde, 108 m^3 par heure, 2 592 par jour et 15 552 par voyage. Ces 15 552 m^3 représentent la superficie du Champ de Mars, évalué à 50 hectares, recouvert d'une couche d'eau de 3 *cm* de hauteur.

Si on compte 40 *l* d'eau de condensation par kilogramme de vapeur, on trouve que les pompes de circulation devront mettre en mouvement 1 200 *l* par seconde, 103 680 m^3 par 24 heures et 622 080 par voyage. Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que le volume débité par 24 heures est à peu près les 85/100e du volume d'eau que la ville de Paris reçoit des sources de la Vanne pendant le même espace de temps. Le volume d'eau qui passe par les condenseurs pendant un voyage, représenterait, sur la superficie du Champ de Mars, une hauteur de 1,24 *m* et la chaleur développée par la combustion des 1800 *t* de charbon brûlé par voyage, pourrait élever la température de cet énorme volume d'eau de 20 degrés centigrades environ.

Si on cherchait à apprécier le volume d'air passant dans les foyers à raison de 18 m^3 par kilogramme de combustible, on trouverait un débit de 60 m^3 par seconde à la température ordinaire, ce qui permet d'apprécier les moyens qu'il faut pour amener de pareils volumes d'air au fond des cales des navires. Dans l'espèce, on a recours, comme on l'a vu, au tirage artificiel par des ventilateurs.

Pont sur le Saint-Laurent. — Un projet qui intéresse à un haut degré le trafic de deux grandes lignes de chemins de fer au

Canada. le *Grand Trunk* et le *Canadian Pacific*, de même qu'une partie notable des voies ferrées de la Nouvelle-Angleterre, est l'établissement d'un pont gigantesque sur le Saint-Laurent à Québec. La grande profondeur du fleuve à cet endroit présente des difficultés sérieuses, mais l'art de l'ingénieur est aujourd'hui capable de les surmonter.

On prévoit un pont du système en encorbellement (*cantilever*) avec des travées de 439,89 *m*. La longueur totale avec les approches atteindra 10 370 *m*, dont 7 320 pour le pont lui-même. La partie supérieure des massifs sur les piles sera à 124,40 *m*, au-dessus des hautes eaux, et les plus grands navires de mer pourront passer sous le tablier.

La dépense est évaluée à 50 millions de francs.

L'exécution de cet ouvrage colossal comblera la seule lacune qui empêche le *Canadian Pacific* de former une ligne non interrompue de l'Atlantique au Pacifique, entièrement sur le territoire canadien, en opérant à travers le Saint-Laurent la jonction du *Canadian Pacific* avec la ligne d'Halifax et Saint-John à Québec.

Production minérale dans la Grande-Bretagne. — La production totale de charbon des mines du Royaume-Uni de la Grande-Bretagne et de l'Irlande a été pour 1887 de 162 119 812 *t* représentant une valeur de 989 millions de francs et, pour 1886, de 157 518 482 *t* d'une valeur de 965 millions.

En 1887, le total des personnes employées au service intérieur ou extérieur des mines a été de 568 026 dont 5 725 femmes travaillant au jour. Le nombre des accidents a été de 881 et le nombre des morts de 1051. Il y a, comparativement à l'année précédente, une augmentation de 12 accidents et de 33 morts. La proportion des accidents se trouve de 1 pour 644 personnes employées aux mines et celui des morts de 1,85 pour 1000. Cette dernière proportion est légèrement plus élevée que pour 1886, mais elle est inférieure à la moyenne des treize années précédentes.

Le nombre total des personnes employées au service intérieur ou extérieur des mines régies par le *Coal Mines Regulation Act* a été de 526 277 dont 4 183 femmes travaillant au jour. Il y a eu 830 accidents et 995 morts; le nombre des accidents est supérieur de 23 et celui des morts de 42 aux chiffres correspondants de 1886. Il y a eu 1 accident pour 634 personnes et 1 mort pour 529. Ces proportions sont moindres que celles de la moyenne des dix années de 1874 à 1883 où on trouve respectivement 587 et 446.

Sans compter la terre réfractaire, on trouve que la quantité de matières minérales extraites dans les différents districts a été de 173 049 795 *t* dont, comme on l'a vu plus haut, 162 119 812 *t* de charbon et 7 569 918 *t* de minerai de fer; il y a une augmentation de 4 601 330 *t* pour le charbon et une diminution de 1 292 730 *t* pour le minerai.

D'après les observations de M. Dickinson sur le nombre des accidents et des morts, relativement au nombre des personnes employées dans les mines régies par les Coal Mines Acts actuel et précédent, la profession de mineur est aujourd'hui deux fois aussi sûre qu'elle l'était, il y a

trente ans, car la proportion était alors de 1 mort pour 228, tandis qu'elle est actuellement de 1 pour 529.

Si on rapporte le nombre des accidents et des morts à la production, on trouve en 1887 1 accident pour 208 494 *t* extraites de matières minérales et une mort pour 173 919, tandis que pour 1886 les chiffres correspondants étaient 210 665 et 178 391.

Le nombre total des personnes employées à l'extérieur ou à l'intérieur des mines régies par le Métalliferous Mines Regulation Act a été de 41 749 dont 1 542 femmes travaillant au dehors. Il y a eu 51 accidents et 96 morts, soit 11 accidents et 9 morts, de moins que l'année précédente. Cela donne une proportion de 1 accident sur 818 et une mort sur 745 personnes. Les chiffres correspondants, pour la moyenne des dix années de 1874 à 1883 étaient 668 et 607.

Production des alliages d'aluminium par l'électricité. — M. Przewoski veut bien nous communiquer la traduction suivante d'un article du *Journal of the Franklin Institute.*

Le procédé de Cowles se distingue des autres méthodes électriques pour la production de l'aluminium en ce qu'il ne produit pas ce métal pur, mais combiné avec le cuivre; les alliages de cuivre et d'aluminium ont une assez grande valeur pour que ce procédé soit intéressant.

Le minerai employé est le corindon; il est traité dans un four formé d'une enveloppe extérieure en briques et d'une enveloppe intérieure formée de couches de charbon de bois pulvérisé et imbibé de lait de chaux.

Le four a un couvercle en fer percé d'ouvertures pour le dégagement des gaz.

La charge est composée de corindon, de charbon de bois concassé et de cuivre en grenaille; elle est recouverte d'une couche de charbon de bois. Les deux électrodes sont des charbons semblables à ceux que l'on emploie dans les lampes à arc, leur longueur est de 0,75 *m* et leur section de 7, 5 cm^2. Le four a 1,50 *m* de longueur sur 0,30 *m* de largeur et autant de hauteur.

Lorsqu'on fait passer le courant, la résistance opposée par le charbon interposé entre les électrodes produit une température assez élevée pour la réduction de l'aluminium, le métal mis en liberté s'allie avec le cuivre en fusion. La température obtenue dans ce four est de beaucoup supérieure à celle de toutes les sources de chaleur connues.

Les alliages obtenus varient de proportions jusqu'à 40 0/0 d'aluminium et même plus.

On coule le métal en lingots, on l'analyse et on le refond avec une certaine quantité de cuivre pour obtenir des bronzes d'aluminium de proportions déterminées.

Le four, dont nous venons de donner la description sommaire, a été perfectionné depuis la construction première et la Compagnie qui exploite les procédés Cowles s'est installée dans l'État de New-York, à Lockport où elle dispose d'une force motrice hydraulique de 1200 chevaux. On dit que le bronze d'aluminium obtenu par ce procédé ne re-

vient pas à plus de 4 *f* le *kg*. Comme l'une des plus importantes applications de l'aluminium est précisément la production de cet alliage, on peut dire que Cowles a résolu complètement le problème au point de vue métallurgique.

Le rôle du cuivre est ici d'absorber l'aluminium pour l'empêcher de subir une altération par action chimique. Si on traite le corindon seul hors de la présence du cuivre, d'une part, on a plus de peine à réunir le métal en une seule masse et de l'autre, il se combine avec le carbone en donnant naissance à des cristaux jaunes de carbure d'aluminium qu'il fait traiter de nouveau pour en extraire l'aluminium. Il paraît probable que les alliages de cuivre et d'aluminium sont des combinaisons en proportions définies et qu'on pourrait séparer les deux métaux par les opérations ordinairement employées en pareil cas, telles que la liquation.

Il y a d'autres métaux que l'on pourrait substituer au cuivre, l'étain par exemple. On obtiendrait, dans le four de Cowles, un alliage d'étain et d'aluminium qui, fondu ensuite avec du plomb, donnerait un lingot formé d'alliage de plomb et d'étain à la base et d'aluminium pur à la partie supérieure. On peut espérer arriver ainsi à produire l'aluminium à un prix très faible. On n'a pas encore résolu entièrement le problème au point de vue pratique, mais la question est très étudiée en ce moment.

On sait que l'aluminium joue un rôle très important dans les alliages. Avec le fer il donne des résultats très remarquables Le métal Mitis se coule facilement et donne des moulages d'une qualité supérieure (1). Il y a peu d'années encore on ne connaissait que le fer forgé; depuis et grâce aux recherches de l'Ingénieur suédois Peter Osberg, le fer coulé est entré dans la pratique. L'aluminium a la propriété d'abaisser la température de fusion du fer d'une quantité très notable, de près de 300 degrès soit 1 900 au lieu de 2200. Cet abaissement permet de fondre facilement le fer qui est assez liquide pour pouvoir être coulé et moulé comme la fonte.

(1) Voir la Chronique de décembre 1886, page 8

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Mai 1889

Rapport de M. Rossigneux sur le **procédé d'agrandissement la main des dessins** à l'aide des projections optiques de M. Mannuel Perier.

Le procédé est une application de l'optique, qui consiste à suivre les lignes d'une image projetée par un megascope ou une lanterne magique.

Une image projetée n'est pas déformée dans sa partie centrale, aussi l'auteur a-t-il eu l'idée, qui est la base du procédé, de faire des dessins à reproduire de grandes épreuves qu'il fractionne pour ramener chaque partie au foyer de l'appareil de projection.

Ce procédé, très pratique, a déjà reçu d'importantes applications dont les principales sont énumérées dans le rapport.

Rapport de M. Berard sur les **papiers de sûreté et les encres** présentés par M. Schlumberger.

Les papiers de sûreté qui font l'objet de ce rapport contiennent dans leur pâte des substances susceptibles de donner une coloration sous l'action des réactifs chimiques employés par les faussaires, par exemple du prussiate de potasse et des sels de fer qui donnent par leur réaction du bleu de Prusse. Mais la réaction est comme suspendue grâce à l'interposition dans la pâte d'un savon résineux qui évite tout contact entre les agents chimiques. Si l'on vient à toucher le papier avec un acide, les agents chimiques, en s'y dissolvant à la fois, laissent apparaitre une large tache bleue. Les alcalis, le chlore, etc,. donnent des réactions analogues.

L'inventeur a également préparé des encres indélébiles dont la composition reste secrète.

Rapport de M. le colonel Sebert sur un **appareil à écrire à l'usage des aveugles** de M. Costel.

Il existe déjà un certain nombre d'appareils à écrire à l'usage des aveugles. L'appareil Costel se compose d'un petit pupitre donnant appui à la main de l'écrivain et portant une petite fenêtre dans laquelle vient s'encadrer l'écriture et qui est munie d'un guide pour la main.

A la différence d'autres systèmes, il n'y a qu'une seule fenêtre ména-

gée dans la plaque qui recouvre la feuille de papier et c'est celle-ci qui se déplace en s'enroulant sur un petit cylindre en bois placé à la partie supérieure de l'appareil. On fait tourner ce cylindre d'un cran après avoir terminé chaque ligne.

Malgré cette addition d'un nouvel organe, l'appareil reste simple et d'un usage commode, car le mode de fixation de la feuille de papier sur le cylindre est d'une manœuvre facile même pour une personne privée de la vue. Il a d'ailleurs le très grand avantage de pouvoir être construit à fort peu de frais.

Rapport de M. J. Carpentier sur le **télégraphe multiple** de Mme Ve Meyer.

Le point caractéristique de ce système qui a reçu de son inventeur le nom de l'appareil télégraphique automatique universel se trouve dans le recepteur, lequel est combiné de manière à donner une bande identique à celle de transmission, c'est-à-dire partant des trous perforés d'après les combinaisons de l'alphabet Morse, de sorte que la bande reçue puisse d'emblée et sans aucune préparation, servir pour une réexpédition.

La perforation des bandes du transmetteur se fait par un composteur spécial. L'inventeur a cru devoir accompagner ces perforations de l'alphabet Morse de signaux à l'encre destinés à réaliser une écriture plus facile à lire que les perforations pour les télégraphistes habitués au Morse.

Rapport de M. Risler sur une étude sur **les vignes américaines dans l'Aude** par M. Rousseau.

Sur la **composition des alliages monétaires** par M. Eugène Peligot.

Rapport de la **commission des ponts sur le Danube**. Extrait des *Annales des Ponts et Chaussées*.

Nous renverrons, à ce sujet, aux comptes rendus d'août 1888, p. 566.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSEES

Janvier 1889.

Notice sur le bassin Bellot, au port du Havre, par M. Desprez, Ingénieur des ponts et chaussées.

Le neuvième bassin du port du Havre, qui a reçu le nom de bassin Bellot, a été achevé en 1887 ; la durée de sa construction a été de sept

années. Il a été établi dans l'anse de l'Eure sur des terrains conquis sur la mer, dont il est séparé par une digue en maçonnerie.

La longueur du bassin est de 1 150 *m*, y compris l'écluse d'entrée ; la superficie totale est de 21 *ha* 21 *a*. Le bassin est divisé en deux parties par une traverse : ces deux parties ont des longueurs inégales, mais la même largeur, 220 *m*.

L'écluse d'entrée, ainsi que le pertuis de communication entre les deux darses, ont 30 *m* de largeur. Le développement des murs de quais est de 2 655 *m*, dont 2 380 *m* sont utilisables pour la navigation.

La notice comprend la description des terrassements et maçonneries, celle des ouvrages métalliques; une troisième partie étudie l'outillage et l'exploitation du bassin.

1° *Terrassements et maçonneries.* — La digue qui sépare le bassin Bellot de la baie de Seine a 1 000 *m* de développement ; elle est fondée sur la plage sur une plate-forme de béton arrasée à la cote de 2,15 *m* au-dessus du zéro des cartes marines ; la hauteur de la digue est de 9 *m*, l'épaisseur est de 6 *m* au bas et de 3,10 *m* en haut, sauf un petit muretin formant parapet, qui n'a que 1,20 *m* d'épaisseur. La masse est formée de maçonnerie de béton avec parement extérieur et intérieur en moellons ; le cube est de 40 m^3 par mètre courant.

La digue est prolongée vers l'Est par une estacade en charpente de 540 *m* de développement, dont le but est de permettre de loger les terres en excès provenant du creusement du bassin, et de former un terre-plein de 10 *ha* environ.

Les travaux du bassin Bellot ont été exécutés, partie à la marée, partie à l'aide d'épuisements opérés en arrière d'un batardeau, partie enfin à l'air comprimé.

Une des parties les plus intéressantes de ces travaux a été l'exécution de la digue du large à la marée. Une fouille destinée à recevoir la plate-forme en béton avait été creusée, et à chaque marée basse on la vidait avec des pompes à vapeur descendues par un plan incliné au moment où la plage se découvrait.

Un travail également très remarquable a été le fonçage des blocs de fondation des quais de la darse Ouest exécuté par notre collègue, M. Hallier, et dont nous avons dit quelques mots dans les comptes rendus de mars 1885, page 472.

Des terrassements du bassin Bellot, la plus grande partie a été exécutée à sec, environ 2 millions de mètres cubes, le reste a été dragué après la mise en eau. L'enlèvement se faisait au wagon, avec traction par locomotives. Une difficulté considérable a été causée par les apports de vase par la mer sur les chantiers, à chaque marée, pendant la période de trois ans qu'a duré la construction de la digue ; le volume de vase ainsi apporté, et qu'il a fallu enlever, a atteint 500 000 m^3.

Une partie des terrassements de la darse ouest a été faite avec deux excavateurs desservis par des wagons. Les excavateurs fonctionnaient 18 à 20 heures par 24 et donnaient un cube de 45 000 *m* par mois. Le cube maximum a été de 2 340 *m* dans une journée pour les deux excavateurs.

Une observation assez intéressante à rapporter est qu'avec la nature

du terrain rencontré, argile sableuse assez humide, le déblai chargé par les excavateurs a coûté beaucoup plus de transport et de décharge, 2,04 *f* au lieu de 1,48, que le déblai chargé à mains en wagons, parce que la manière dont l'excavateur charge les wagons ne permet de les remplir que partiellement et que, de plus, le déblai adhère davantage au wagon, et qu'il faut une équipe supplémentaire pour le détacher.

On a dû travailler à l'air comprimé pour la démolition du mur de quai du bassin de l'Eure, au droit de l'entrée de l'écluse Bellot, et pour l'exécution des musoirs de raccordement de l'écluse Bellot et du quai est du bassin de l'Eure. On a employé des caissons mobiles, et le fonçage s'est opéré par les procédés ordinaires.

2° *Ouvrages métalliques.* L'écluse Bellot comprend un premier groupe d'ouvrages métalliques; pont tournant, portes, vannes et cabestans.

Le pertuis de communication comporte un second pont semblable au premier. Quelques autres ouvrages de moindre importance complètent cette partie.

Chaque pont a 53 *m* de longueur, dont 35,80 pour la volée; la largeur est de 7,72 *m* d'axe en axe des poutres. Ces poutres sont à treillis. la hauteur est de 4 *m* au milieu. Les entretoises ont 0,80 *m* de hauteur et sont espacées de 3,40 *m* d'axe en axe. Le pont porte une voie ferrée au centre, deux voies charretières et deux trottoirs sur les côtés. Il est calculé pour recevoir sur les rails les plus lourdes locomotives de la Compagnie de l'Ouest.

La rotation du pont s'effectue par des appareils funiculaires à six brins de chaines actionnés par des pistons hydrauliques, une presse hydraulique horizontale agissant sur un coin sert au décalage de la volée. Le pont pèse environ 370 *t*.

Les portes d'écluses ont deux vantaux de 16,51*m* de largeur et 10,96 de hauteur. Ces vantaux entièrement en tôle et fer ont des aiguilles verticales portant le bordé et reposant sur deux entretoises horizontales l'une en haut l'autre en bas. Elles sont d'ailleurs semblables aux portes de l'écluse des Transatlantiques dont il a été donné une description sommaire dans les comptes rendus de janvier 1888, page 130.

Les portes sont manœuvrées par des systèmes funiculaires actionnés par des cylindres hydrauliques.

Il y a également sur les musoirs de l'écluse huit cabestans hydrauliques destinés à faciliter les mouvements d'entrée et de sortie des navires.

Tous ces appareils sont desservis par la machine hydraulique établie sur l'avant-port et qui commande tous les appareils du port.

Comme cette machine est à 1800 *m* de l'écluse Bellot, on a établi un accumulateur de relai et une machine auxiliaire en cas d'accident à la canalisation générale.

L'accumulateur est un cylindre de 755 *l* de capacité chargé à une pression de 52 *k* par cm^2.

La machine auxiliaire comporte une chaudière à mise en pression rapide du système Field de 15,70 mc^2 de surface de chauffe, une machine compound à pilon actionnant deux batteries de trois pompes à plongeur

chacune. Cette machine peut fournir 30 *t* d'eau sous pression par minute, volume qui permet d'effectuer une manœuvre du pont toutes les vingt-cinq minutes, ce qui a été considéré comme largement suffisant.

Les dépenses d'établissement du bassin Bellot s'élèvent en nombre rond à 24 millions de francs dont 18 pour terrassements, maçonneries, pavages, etc., 1 100 000 pour les ouvrages métalliques et appareils hydrauliques, le solde représentant les frais d'épuisement, surveillance, indemnités de terrains etc.

3° *Outillage et exploitation.* L'outillage comprendra un service complet de voies ferrées et une gare maritime des engins de manutention, des hangars etc. On a prévu 28 grues de trois modèles variant de 750 à 5000 *kg* et 16 treuils de 750 à 1000 *kg*, plus 2 grues flottantes l'une de 9 à 10 *t* l'autre de 20 à 30 *t*.

La note est suivie d'une annexe relative au cahier des charges et tarifs des engins de manœuvre et des hangars dont la construction et l'exploitation est concédée à la Chambre de commerce du Havre dont l'ingénieur, notre collègue, M. Delachanal, est chargé de ces importants travaux.

Note sur la **flexion des pièces droites comprimées** par M. Ed. Collignon, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Lorsqu'une pièce se trouve comprimée dans le sens de sa longueur elle est exposée à se courber lorsque la force dépasse une certaine limite dépendant du moment d'inertie de la pièce et de sa longueur.

L'analyse sommaire qui conduit à cette limite, fait reconnaître en même temps que la pièce, dès qu'elle commence à fléchir, tend à prendre une courbure de plus en plus prononcée et se trouve par conséquent en danger de rupture. Ce n'est qu'une considération approximative qui laisse une certaine indétermination, laquelle disparaît dès qu'on suit une méthode plus rigoureuse que la note a pour objet d'exposer.

Cette méthode trouve son application dans l'étude de la compression des tiges et l'auteur fait la comparaison des résultats avec ceux que fournit la formule de Rankine; il conclut de cette comparaison que cette dernière formule peut être suivie en toute sécurité, puisqu'elle assure aux pièces, des compressions moindres que celles qu'exige la théorie, en se tenant au tiers de la limite qui correspond à la flexion initiale de la pièce comprimée.

Note sur la **détermination des limites de l'effort tranchant dans les poutres droites**, par M. Ed. Collignon, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

On admet souvent, pour dresser le projet d'une poutre droite, l'hypothèse simplificative d'une charge uniformément répartie. L'objet de la note est de montrer que la même hypothèse peut servir à déterminer des limites des efforts tranchants dus à des charges discontinues, tout aussi bien que les plus grandes valeurs des moments fléchissants que ces charges produisent.

Cette démonstration repose sur le théorème suivant :

Etant donnée une charge par mètre courant uniformément répartie,

on peut trouver un poids constant $P = \frac{1}{2} pl$, qui, appliqué en un point quelconque de la poutre, produise en ce point le même moment fléchissant que la charge uniforme appliquée à la poutre entière.

La note contient l'exposé d'une méthode graphique pour la construction du poids p uniformément réparti équivalent à un système de poids donnés.

Machine rotative à vapeur pour l'enlèvement des neiges (Traduit du RAILROAD GAZETTE).

ANNALES DES MINES

Sixième livraison de 1889.

Étude sur **les appareils Piccard pour la vaporisation des dissolutions salines** et sur l'emploi du travail pour obtenir de la chaleur, par M. A. RATEAU, Ingénieur des mines.

Le procédé de l'évaporation économique par compression de la vapeur a été indiqué depuis assez longtemps déjà par Peclet qui en attribue l'invention à Pelletan avant 1840. Mais ce n'est que vers 1876 que M. Piccard fit une première application à la saline de Bex avec le concours de M. Weibel et Briquet, constructeurs à Genève et dès lors le procédé reçut de nouvelles applications en France, en Allemagne et en Autriche.

Ce mémoire est divisé en cinq parties :

La première étudie le procédé de vaporisation économique par compression de la vapeur, nous nous bornerons à renvoyer sur ce sujet aux explications données dans les comptes rendus d'octobre 1886, page 523, à l'occasion d'une communication de M. Haton de la Goupillière, à la Société d'Encouragement sur la même question.

La seconde partie décrit l'appareil Piccard à sel fin et la troisième contient les calculs et discussions relatives à cet appareil. La quatrième partie décrit l'appareil Piccard à sel gros et enfin la dernière est consacrée à des considérations sur l'emploi de la force motrice pour obtenir de la chaleur.

L'auteur y fait remarquer que l'emploi de la force motrice pour obtenir de la chaleur utile, qui a reçu une application si heureuse dans le procédé d'évaporation économique par compression de la vapeur, peut rendre des services dans des cas analogues où le corps qui nécessite le calorique se prête à la compression mécanique et peut lui-même servir de véhicule à la chaleur.

On peut en faire l'application à la locomotive sans feu à soude d'Honigmann, en employant la force d'une chute d'eau à la concentration de la dissolution de soude par la compression de la vapeur. On pourrait employer ces locomotives pour la traction dans des tunnels aux abords desquels il y a généralement des chutes d'eau dont on emploierait ainsi indirectement la puissance motrice. Enfin on pourrait, à la descente des

rampes, employer l'action de la gravité à concentrer la liqueur de soude à l'aide de la compression de la vapeur, pour remettre la machine, sauf un appoint à l'arrivée, en état de remonter. Ces conceptions sont évidemment prématurées, mais elles indiquent un ordre d'idées qui peut être envisagé comme réalisable plus tard, au moins dans une certaine mesure.

Note sur **l'explosion d'une chaudière à vapeur** dans une sucrerie à Aulnois (Aisne) par M. Hirsch, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Il s'agit d'une chaudière cylindrique à trois bouilleurs faisant partie d'un groupes de six générateurs. L'explosion s'est produite vers deux heures du matin. Trois hommes furent tués par brûlure. L'accident est dû à la rupture du tampon en fonte formant tête de bouilleur. Les trous destinés à recevoir les rivets étaient venus de fonte selon une funeste pratique, et le brochage qui est la conséquence à peu près inévitable de cette pratique avait déterminé une rupture préalable de la collerette du tampon Un rematage récent opéré à la suite de fuites est une indication de cette cassure.

Bulletin des **accidents survenus en 1887 dans l'emploi des appareils à vapeur.**

Il y a eu en 1887 un total de 36 accidents dont 13 attribués à des conditions défectueuses d'établissement, 12 à des conditions défectueuses d'entretien, 20 à un mauvais emploi des appareils et 1 à des causes restées inconnues. Le nombre total des causes est supérieur à celui des accidents, parce que le même accident a été, dans certains cas, dû à plusieurs causes réunies.

Note sur le **traitement industriel des sels de Stassfurt,** par M. Janet, ingénieur des Mines.

L'exploitation des sels de Stassfurt a pris un très grand développement au point de vue de l'utilisation des produits qui étaient autrefois rejetés; c'est ainsi qu'on obtient aujourd'hui, non seulement les sels de potasse et de soude, mais encore des quantités importantes de sels de magnésie, de brome et d'acide borique. La production seule du chlorure de potassium a atteint en 1884 le chiffre énorme de 113 000 tonnes représentant une valeur de 20 millions de francs.

Note sur **l'explosion de deux chaudières à vapeur à Comines** (Nord), par M. Olry, Ingénieur des Mines.

Ces chaudières étaient à corps cylindrique horizontal avec deux bouilleurs inférieurs. L'explosion s'est produite à sept heures du matin. Un des générateurs vola en éclats, l'autre se divisa en trois parties qui furent projetées de divers côtés. Il y eut quatre hommes tués sur le coup par les débris et plusieurs blessés.

Il a été reconnu que l'explosion du second générateur n'a été que la conséquence de celle du premier et que celle-ci était due à la fois à l'affaiblissement amené par des corrosions et à un excès de pression dû au calage des soupapes de sûreté.

Note sur des **mouvements vibratoires du sol** déterminés par un effondrement intérieur aux houillères de Montrambert (Loire), par M. Primat, Ingénieur des Mines.

Des secousses analogues à celles dues à un tremblement de terre se sont fait sentir, le 13 janvier 1888, à divers endroits des environs de Montrambert et paraissent devoir être attribuées à un effondrement produit dans des tailles de la concession de Montrambert. La transmission se serait faite jusqu'à une distance de 2500 *m*. On fait remarquer à ce sujet que, lors de l'effondrement des mines de sel gemme de Varangeville en 1873, la secousse fut ressentie à plus de 15 *km* de distance et attribuée au premier moment à un tremblement de terre.

Sur la **résistance des fonds plats circulaires** des appareils à vapeur, par M. H. Resal.

Le calcul de l'épaisseur des fonds plats présente des difficultés non encore surmontées lorsqu'il est basé exclusivement sur la théorie mathématique de l'élasticité. La formule de Lamé, reposant sur une induction théorique, soulève une objection sérieuse, en ce qu'elle ne fait pas intervenir le mode d'assemblage du fond et du corps cylindrique. L'auteur en recourant aux hypothèses de la résistance des matériaux, arrive à une formule qui donne une réduction sur l'épaisseur qu'on trouve par celle de Lamé.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

DISTRICT DU SUD-EST

Réunion du 10 mars 1889.

Visite des Mines de Molières. Les parties les plus intéressantes sont d'abord le relief du bassin houiller du Gard à l'échelle de 1/5000 tant pour les longueurs que pour les hauteurs, représentant une surface de 420 km^2. Les formations géologiques y sont représentées ainsi que les limites des concessions, les puits, sondages, filons, les principales failles et même les maisons. Pour qu'on puisse se rendre compte exactement de l'allure du terrain houiller en profondeur, un certain nombre de parties superficielles du relief peuvent se soulever et laisser voir en place l'exploitation d'une des couches principales.

Vient ensuite le puits Silhol qu'on vient de créer et qui doit extraire par jour 1000 *t* de charbon de 172 *m* de profondeur ; il faut de plus extraire 1000 *t* d'eau et monter et descendre 1000 ouvriers.

Le chevalement est en fer et a 23,5 *m* de hauteur jusqu'à l'axe des molettes.

Les cages sont à deux étages et peuvent recevoir deux grands wagons

du type de Bessèges et 20 ouvriers. La hauteur totale des cages est de 5,50 *m*, ce qui permet un guidage parfait.

Le parachute est du système Veillon; par une heureuse innovation, il est placé dans un chariot qu'on entre dans la cage et qu'on en sort comme un wagon ordinaire, ce qui facilite singulièrement le graissage et la visite des organes.

La machine d'extraction est alimentée par un groupe de cinq chaudières à bouilleurs. La machine est à deux cylindres de 0,80 *m* de diamètre et 2 *m* de course. Il y a un système d'évite-molettes qui ferme la vapeur et fait agir le frein si la cage dépasse une certaine hauteur dans le chevalement.

L'usine à briquettes de Molières comprend d'abord un four à sécher le charbon, du système rotatif, qui enlève au charbon, qui met dix minutes à le parcourir, de 5 à 6 0/0 d'eau,

Le charbon est additionné de brai sec et amené au grand broyeur qui tourne à 200 tours par minute et opère un mélange parfait de la matière avant son arrivée aux malaxeurs.

Ceux-ci sont à double enveloppe et chauffés avec de la vapeur surchauffée à 200 degrés, laquelle est ensuite lancée dans le mélange. Ce mélange passe ensuite dans un distributeur puis dans les alvéoles du plateau tournant, pour y être comprimé à 150 *kg* par centimètre carré, par pression hydraulique.

Les briquettes pèsent environ 10 *kg*. La force motrice est fournie par une machine à cylindre de 0,65 *m* de diamètre et 0,85 *m* de course, tournant à 60 tours par minute et recevant la vapeur de deux chaudières Belleville; ces chaudières fonctionnent à 7 ou 8 *kg*, et la pression est réduite à 4 ou 5 *kg* à l'entrée au cylindre par un régulateur détendeur.

L'éclairage électrique des mines de Molières est effectué par le système Brush.

La dynamo, marchant à 1 000 tours à la minute, alimente 16 lampes. L'installation a coûté 20 000 *f* environ, dont 5 400 pour la machine motrice et 3 800 pour le montage et les accessoires ; il y a 1 150 *m* de câbles. Le prix de revient est, pour 1888, de 18 *c* par lampe et par heure. Les lampes ont une intensité de 75 carcels,et chacune éclaire utilement un cercle de 20 *m* de rayon.

Réunions de Saint-Étienne

Séance du 6 avril 1889.

Câble-chaîne, de M. Delage. — Il s'agit d'un rapport présenté sur ce système de chaine par un ingénieur belge, M. de Saint-Hilaire.

Le câble-chaine Delage est formé d'une série d'hélices en fil de fer vissées pour ainsi dire les unes dans les autres ; les spires ainsi emmaillées sont séparées dans leur entrecroisement par un boulon à tête et écrou arrondis, autour desquels viennent s'enrouler les extrémités des hélices. Ce système offre une grande analogie avec certaines courroies métalliques.

Congrès internationaux pendant l'Exposition.

Nouvelle application industrielle de l'oxygène. — Il s'agit d'un chalumeau alimenté par de l'oxygène comprimé, essayé récemment à Saint-Chamond, et qu'on proposait pour effectuer sur place le brasage de certaines pièces de machines.

D'après des renseignements fournis à la réunion, ces expériences paraissent avoir mal réussi et l'appareil ne présenter guère de supériorité sur les chalumeaux classiques.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin de janvier 1889.

Rapport annuel présenté par M. Binder, secrétaire général.

Note de M. R. Bourcart sur la **romaine micrométrique** de G. Thomas et Ce, à Manchester.

Cet appareil destiné à déterminer sous de très petites longueurs le numéro des fils, se compose d'un fléau fait d'un fil d'acier d'un demi-millimètre de diamètre reposant en son milieu sur un couteau ; aux deux extrémités sont des crochets dont l'un forme poids fixe tandis que l'autre sert à suspendre la matière à numéroter. L'appareil comprend en plus une série de plaques minces, carrées en laiton, de diverses dimensions, proportionnelles aux numéros français, anglais pour coton, laine, etc.

On coupe avec les ciseaux un carré de tissu égal à la plaque correspondante ; on met d'un côté les fils de chaine, de l'autre les fils de trame. Pour avoir le numéro du fil, on équilibre le crochet formant poids fixe en posant sur le crochet opposé un nombre suffisant de fils. Le nombre de ces fils donne le numéro.

La sensibilité de cet appareil est suffisante pour donner une approximation de 3 0/0.

Nouvelle méthode pour l'**étude des régulateurs de vitesse** par M. Dwelshauvers-Dery, professeur à l'Université de Liège (Extrait des publications de l'*Institution of civil Engineers).*

Si on appelle R la résistance que le manchon mobile d'un régulateur éprouve à se mouvoir de la part des organes modificateurs du travail moteur de la machine, on constate que lorsque la force centrifuge tend à faire monter le manchon, la résistance R tend à agir dans le même sens que le poids propre du manchon, tandis que, si la force centrifuge tend à faire baisser le manchon, la résistance R agit en sens contraire. Il en résulte que, pour une position donnée du manchon le long de sa course, la vitesse de rotation w, nécessaire pour faire monter le manchon, est plus grande que la vitesse de rotation v nécessaire pour que

le manchon retombe. Donc, pour une même ordonnée représentant les positions du manchon d'un diagramme dont les abcisses seraient les vitesses, il y a deux vitesses d'équilibre w et v, la première correspondant à l'ascension et l'autre à la descente du manchon. C'est dans la prise en considération de cette résistance R que réside principalenent la nouveauté de la méthode exposée.

L'auteur fait observer que tant que la vitesse de rotation sera maintenue entre w et v, le manchon restera immobile ; la différence $w - v$ mesure donc l'insensibilité du régulateur et si on appelle ω la vitesse moyenne, le degré de sensibilité du régulateur sera mesuré par $\frac{\omega}{w - v} = n$.

Si on ajoute que le coefficient de régularité de la machine peut être défini le rapport de la vitesse moyenne à la différence des vitesses extrêmes, on aura les bases essentielles de l'appréciation d'un régulateur.

L'auteur appelle ***régulateur astatique*** celui qui permet à la machine de faire une force quelconque, comprise entre O et N chevaux, en marchant à la vitesse de régime ω et sans que la vitesse puisse sortir des limites extrêmes indiquées plus haut. Ce régulateur astatique représente l'idéal, il ne doit pas être confondu avec le ***régulateur isochrone***. Ce dernier dans lequel on suppose nulle la résistance R peut être réalisé comme tachomètre, mais non utilement comme régulateur.

L'auteur pose un certain nombre de conditions auxquelles doivent satisfaire les régulateurs qu'il examine successivement et indique à quel degré ils y répondent. Il passe en revue ainsi : 1° le régulateur de Watt, avec les hypothèses où on le rend astatique ou quasi-isochrone, 2° le régulateur de Proëll, 3° de Rankine, 4° d'Andrade, 5° de Buss. Le mémoire se termine par une note sur le pendule cosinus de Buss.

Recherches sur les **xylidines et leurs dérivés** (4[me] partie) par MM. E. Noelting et B. Pick.

Recherches sur les **xylidines et leurs dérivés** (5[me] partie) par MM. E. Noelting et B. Pick.

Deuxième rapport annuel sur le **laboratoire d'analyses chimiques** de Mulhouse, par M. R. Bourcart.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 18. — 4 *mai* 1889.

Ouverture de l'Exposition générale allemande d'appareils contre les accidents, à Berlin.

Établissement d'un réseau de distribution, par Ph. Forchheimer *(fin)*.

Chaudière de locomotive à foyer ondulé, par O. Knaudt.

Machine à travailler le bois, de A. Benneckendorf.



Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Valeur pratique des contrôles scientifiques. — Appareils pour mesurer la densité des gaz. — Théorie du fonctionnement des machines frigorifiques du système R. Pictet.

Patentes.

Bibliographie. — Manuel de technologie mécanique de K. Karmarsch.

Correspondance. — Expériences sur une machine frigorifique Pictet.

Variétés. — Corrosion des chaudières à vapeur. — Exposition industrielle à Hambourg.

N° 19. — 11 *mai* 1889.

Causeries sur la mécanique technique, par le Dr G. Holzmuller *(suite)*.

Appareils de sécurité dans les forges et aciéries, par K. Specht.

Câble transporteur, système Otto, de Boden à Garrucha.

Machines à forger.

Groupe du Palatinat-Saarbruck. — Fabrication de l'acide sulfurique et industrie du verre. — Chemins de fer de mines.

Groupe de la Ruhr. — Excursion à Oberhausen. — Construction d'un pont à Sumatra. — Câbles pour transports aériens.

Patentes.

Bibliographie. — Manuel de résistance des matériaux, de L. Tetmajer. — Dictionnaire de chimie, de Ludenburg.

Variétés. — École de métallurgie des provinces rhénanes et de la Westphalie. — Barrage de l'Eschbachthal.

N° 20. — 18 *mai* 1889.

Moulins de la Saale, à Bernburg, par Ernst Reichel.

Procédés de laminage de Mannesmann.

Métallurgie. — Pompe à plomb de Rosing, par le Dr B. Rosing.

Groupe de Wurtemberg. — Voyage d'études dans la Grande-Bretagne.

Patentes.

Bibliographie. — Manuel de résistance des matériaux, par L. Tetmajer *(fin)*.

Variétés. — Le pont du Forth et la tour Eiffel.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet

IMPRIMERIE CHAIX. — RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 14286-7-9



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

JUIN 1889

N° 6

Sommaire des séances du mois de juin 1889 :



pilons et les Presses hydrauliques appliqués aux travaux de forge et de chaudronnerie, par M. Benoit-Duportail, et observations de MM. D.-A. Casalonga, Polonceau. Périssé et Lencauchez (Séance du 7 juin, page 903).

13° *Première liste des Membres de la Société faisant partie des Jurys des Récompenses à l'Exposition universelle de 1889* (Séance du 7 juin, page 910).

14° *Lettre* de M. Leloutre au sujet de la présentation de son *Mémoire sur la Théorie générale de la machine à vapeur* (Séance du 21 juin, page 911).

15° *Nomination* de Membres du Jury des Récompenses (Séance du 21 juin. page 911).

16° *Situation financière de la Société (Exposé de la)*, par M. le Trésorier de la Société (Séance du 21 juin, page 912).

17° *Médaille d'or de la Société*, décernée à M. L.-A. Barbet, pour son mémoire sur *la Construction et le calcul des Cylindres de Presses hydrauliques ou à air* (Séance du 21 juin, page 918).

18° *Prix Michel Alcan*, décerné à M. Bonnami, pour son mémoire *la Théorie sur la fabrication et la solidification des produits hydrauliques* (Séance du 21 juin, page 918).

19° *Remise des Médailles* décernées en 1888 à MM. Gruner, Borodine. Gouilly et Casalonga (Séance du 21 juin, page 918).

20° *Locomotive Compound (La)*, par M. E. Polonceau, et observations de MM. Parent et E. Roy (Séance du 21 juin, page 919).

Pendant le mois de juin la Société a reçu :

30830 — De M. G. Eiffel (M. de la S.). — *Mémoire présenté à l'appui du viaduc de Gabarit.* Paris, Baudry et Cie, 1889, grand in-8° de 182 pages, avec atlas in-folio.

30831 — De la Commission des aqueducs de New-York. — *City of New-York. Aqueduct Commission. Reports on researches concerning the design and construction of high masonry dams in view of the proposed building of Quaker bridge Dam.* (Ville de New-York. Commission des aqueducs. Rapport sur les recherches concernant le projet et la construction d'un barrage élevé en maçonnerie, en vue de la construction proposée pour le pont barrage Quaker.) New-York, Douglas. Taylor, 1889, in-4° de 64 pages avec planches.

30832 — De M. G. Steinheil. — *Les vidanges et les eaux ménagères au point de vue de l'assainissement des habitations privées*, de M. le docteur Albert Friot. Paris, G. Steinheil, 1889, in-8° de 339 pages.

30833 — Du Ministère des Travaux publics. Direction des routes de la navigation et des mines. — *Statistique de l'Industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie, pour l'année 1887, avec un appendice concernant la statistique mi-*

nérale internationale. Paris, Imprimerie Nationale, 1889, in-4° de 218 pages.

30834 — De l'*Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur. 15e Bulletin. Exercice 1888*. Paris, Siège de l'Association, 1889, in-8° de 83 pages.

30835 — D. M. Ch. Henry. — *Cercle chromatique présentant tous les compléments et toutes les harmonies des couleurs avec une introduction sur la théorie générale du contraste, du rythme et de la mesure*. Paris, Ch. Verdin, 1888, in-12° de 164 pages.

30836 — Du même. — *Rapporteur esthétique permettant l'étude et la rectification esthétique de toute forme*. Paris, G. Séguin, 1888, in-12° de 22 pages.

30837 — Du même. — *Sur la dynamogénie et l'inhibition et sur un cercle chromatique, un rapporteur et un double décimètre esthétique*. Paris, Gauthier-Villars, 1889, in-4° de 4 pages.

30838 — De M. L. F. Vernon-Harcourt. — *The principles of training Rivers through Tidal Estuaries, as illustrated by investigations into the Methods of improving the Navigation Channels of the Estuary of the Seine*. (Les principes sur l'endiguement des rivières dans les estuaires à marée, d'après les recherches sur les méthodes d'amélioration du chenal de navigation de l'estuaire de la Seine.) Londres, Harisson and Sons, 1889, in-8° de 21 pages.

30839 — De M. L. F. Vernon-Harcourt. — *Some canals and other works, in France, Belgium, and Germany*. (Certains travaux sur les canaux, rivières et autres de France, de Belgique et d'Allemagne.) Londres, Clowes and Sons, 1889, in-8° de 50 pages.

30840 — De M. E. Melon (M. de la S.). — *Le gaz, source de lumière, de chaleur et de force*. Lille, Danel, 1888, grand in-8° de 35 pages.

30841 et 30842 — De M. O. Doin. — *Manuel pratique de photographie*. Paris, O. Doin, 1888, 2 vol. in-8° de 256 et de 251 pages, de M. A. Rossignol.

30843 — Du « Génie civil ». — *Fabrication et contrôle des chaux hydrauliques et des ciments, de M. Bonnami. Analyse et appréciations*. Paris, Génie civil, 1889, in-12° de 15 pages.

30844 — De M. P. Pignant (M. de la S.). — *Principes d'assainissement des habitations des villes et de la banlieue. Travaux divers d'assainissement. Epuration et utilisation agricole des eaux d'égouts*. Dijon, Darantière, 1889, grand in-8° de 103 pages. fascicule 1er.

30845 — De l'*École nationale des Ponts et Chaussées. Collection de dessins distribués aux élèves. Légendes explicatives des planches*. Paris, Imprimerie Nationale, 1889, grand in-8°, tome 3e, 5e fascicule, 22e livraison.

30846 — De M. D. Grusson. — *Nouvel appareil d'attelage des wagons.* Cinq notices et un dessin.

30847 — De M. Miguel Perez. — *Etados Unidos Mexicanos. Informes y Documentos relativos à Commercio interior y exterior, agricultura, mineria et industrias.* Mexico, années 1885, 1886, 1887 et 1888. (Publication mensuelle). (Informations et documents relatifs au Commerce intérieur et extérieur, à l'agriculture, aux mines et à l'industrie des États-Unis du Mexique.)

30848 — De M. P. de Monicourt (M. de la S.). — *Note sur un système de roue à pas variable pour transmission par chaîne Galle (breveté S. D. G. D.).* Paris, Broise et Courtier, 1889, in-8° de 12 pages.

30849 — De M. A. Bandsept (M. de la S.). — *Articles extraits de diverses revues scientifiques sur les accumulateurs électriques.* Bruxelles, Imprimerie Belge, 1884-1888, in-8° de 103 pages.

30850 — De la *Compagnie du Chemin de fer du Nord. Assemblée générale du 30 avril 1889. Rapport présenté par le Conseil d'administration.* Lille, Danel, 1889, in-4° de 113 pages (5 exempl.)

30851 — De M. Edouard Simon (M. de la S.). — *Cenni sugli ultimi perfezonamenti delle Macchine a vapore locomotive preceduti da alcuni principi generali di termodinamica,* de Leonardo Carpi. (Aperçu sur les derniers perfectionnements de la Machine à vapeur locomotive précédé de quelques principes généraux de thermo-dynamique).

30852 — Du même. — *Description de la locomotive de montagne « Steierdorf » envoyée à l'Exposition de Paris de l'année 1867, par la Société Autrichienne I. R. P. des Chemins de fer de l'État.* Vienne, 1867, in-4° de 17 pages, avec planches (en français et en allemand).

30853 — Du même. — *Les machines magnéto-électriques françaises et l'application de l'électricité à l'éclairage des phares.* Paris, Gauthier-Villars, 1868, in-4° de 76 pages avec planches.

30854 — Du même. — *Moteur à air chaud par génération à volume constant ou pression supplémentaire plus grande que celle de l'air froid comprimé, reconstitution de la température pendant la détente, régénération de la chaleur et alimentation du foyer par l'air chaud sortant de la machine,* de M. L. D. Girard. Paris, Broise et Thieffry, 1863, in-4° de 36 pages avec planches (autogr.).

30855 — Du même. — *Hydraulique. Utilisation de la force vive de l'eau appliquée à l'industrie. Critique de la théorie connue et Exposé d'une théorie nouvelle.* Paris, Mallet-Bachelier, 1863, atlas in-folio de 13 planches sans texte.

30856 — De M. Ernest Biver (M. de la S.). — *Monographie de la Société de charbonnages des Bouches-du-Rhône, précédée d'une étude*

sur le bassin à lignites des Bouches-du-Rhône. Tunnel de 14,859 mètres, déclaré d'utilité publique par décret en date du 28 février 1889. Marseille, Imprimerie Marseillaise, 1889, grand in-8° de 36 pages avec planches.

30857 — De M. G. Ritter (M. de la S.). — *Lettre ouverte adressée à la Chambre des députés de France, soit réplique aux allégations de la Commission des eaux de l'Avre concernant le projet de dérivation des eaux du lac de Neuchâtel pour l'alimentation de Paris et de ses environs.* Neuchâtel, Imprimerie de la Société Typographique, 1889, in-8° de 16 pages.

30858 — De M. J. Weiler. — *La grève de Mariemont et les conseils de conciliation et d'arbitrage.* Paris, Guillaumin et Cie, 1889, in-8° de 27 pages.

30859 — De M. A. Mallet (M. de la S.). — *Les locomotives Compound. Mémoire lu le 10 avril 1889, à la réunion du New-England Railway-Club, par A. Sinclair. Traduction et notes, par A. Mallet.* Paris, Chaix et Cie, in-8° de 20 pages.

30860 — De M. Hersent (M. de la S.). — *Nouvelles installations maritimes du port d'Anvers.* Notice sur les travaux exécutés et les moyens mis en œuvre par MM. Couvreur et Hersent, entrepreneurs, 1877-1884. Paris, Chaix, 1885 (in-8° de 66 pages avec plan).

30861 — De M. Hersent (M. de la S.). — *Ouvrages exécutés au moyen de l'air comprimé;* dragages, dérochements, terrassements, outillage. Description des moyens d'exécution, machines, engins et installations diverses. Paris, Chaix, 1889 (in-4° de 222 pages avec plan).

30862 — De M. Hersent (M. de la S.). — *Port de Toulon.* Construction de deux bassins de radoub dans la darse de Missiessy au moyen de caissons métalliques et d'air comprimé. Plans et dessins d'exécution. Paris, Broise et Courtier, 1885 (atlas in-f°).

30863 et 30864 — De M. Hersent (M. de la S.). — *Port de Saïgon.* Construction d'un bassin de radoub dans l'arsenal de Saïgon au moyen de caissons métalliques et d'air comprimé. Notice explicative des moyens d'exécution proposés et mis en œuvre. Paris, Broise et Courtier, 1885. (Texte de 37 pages, autographie et atlas de 17 pages, des plans et dessins). Paris, Broise et Courtier, 1885 (in-f°).

30865 et 30866 — De MM. Baudry et Cie, éditeurs. — *Mémoires présentés et lus à l'Institut égyptien.* Tome II, première partie et deuxième partie. Le Caire, 1889 (in-4° de 821 pages).

30867 — De M. Borodine (M. de la S.). — *Note sur la question des primes au personnel* (art. xx du questionnaire de la 3e section du Congrès). Congrès international des chemins de fer, 3e section. Paris, 1889; Bruxelles, Weissembruck, 1889 (in-8° de 11 pages).

30868 — De la Chambre de commerce de Dunkerque.—*Recueil des procès-verbaux des séances de la Chambre de commerce de Dunkerque.* Tableaux statiques du commerce du port et de la circonscription consulaire de Dunkerque. Dunkerque, Bandelet, 1889 (grand in-8° de 528 pages).

30869 — De M. H. Maury.—*Société industrielle du Nord de la France* sur l'envers du Théâtre faite, le 18 novembre 1888, à la Société industrielle du Nord de la France. Lille, Danel (in-8° de 31 pages).

30870 — De M. Evrard. (M. de la S.). —*Notice sur un lavoir à charbon dit lavoir à palettes.* Société de l'industrie minérale. Saint-Etienne, Théolier et Cie, 1889 (in-8° de 35 pages avec plans).

30871 — De M. Steinheil. (M. de la S.).—*Fabrications et emplois industriels de l'acier.* Paris, Steinheil, 1889 (grand in-8° de 752 pages).

30872 — De l'Association française d'appareils à vapeur. —*Associations françaises des propriétaires d'appareils à vapeur.* Exposition collective de défaut de tôles, corrosions, incrustations. Exposition universelle de 1889. Lille, Danel, 1889 (in-8° de 298 p.).

30873 — De M. Normand (M. de la S.). — *Note sur les machines à double et triple expansions inventées par B. Normand.* Rouen, Lapierre, 1889 (in-8° de 16 pages).

30874 — De la Société Académique de l'Aube. —*Mémoire de la Société Académique d'agriculture, des sciences, arts et belles lettres du département de l'Aube.*

30875 — Du Canadian Institute. —*Annal report of the Canadian institute session 1887.* Toronto, 1889 (in-8°).

30876 — De M. A. Bandsept (M. de la S.). — *Inducteurs dynamo-électriques* (aéro et hydro) *et pyro-électriques.* Bruxelles, Cie B^e^, 1889 (in-8° de 15 pages).

38877 — De M. Bandsept (M. de la S.). — *Système de traction électrique pour voies étroites à profils en courbes et rampes très prononcées.* Bruxelles, Cie B^e^, 1889 (in-8° de 9 pages).

30878 — De MM. Brodard et Gallois. — *Notice sur l'imprimerie typographique* Brodard et Gallois de Coulommiers. Coulommiers, Brodard et Gallois, 1889.

30879 — De M. G. Dumont (M. de la S.). — *Exposition universelle de Paris 1889.* Notices sur les appareils et objets exposés pour le service de l'exploitation de la Compagnie des chemins de fer de l'Est. Paris (in-4° de 52 pages pour autographes, avec plans).

30880 — École spéciale d'architecture. — *Concours de sortie de 1889. Première épreuve. Projet.* Paris 1889.

Les membres nouvellement admis pendant le mois de juin, sont :

Comme membres sociétaires :

MM. C. Clerc, présenté par MM. Mathieu, Saglio et Brüll;
E. Gauthier, — Boas, Rodrigues-Ely et Gouilly ;
F. Lavezzari, — Grisel, Schmidt et Pettit;
G. Rochebois, — Charbonnier, Bouvard et Rubin.

Comme membres associés :

MM. Duseaux, présenté par MM. Brichaut, Leverbe et Mallet;
Ch.-E. Herscher fils, — Herscher, Jousselin et Geneste.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUIN 1889

Séance du 7 Juin 1889.

PRÉSIDENCE DE M. S. PÉRISSÉ, Vice-Président.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 mai est adopté.

M. PULIN demande à ajouter quelques mots à la communication qu'il a présentée dans la dernière séance.

Il explique que dans ses observations concernant le service très accéléré qui a eu lieu, au mois d'août 1888, entre Londres et Édimbourg, il a voulu parler de vitesses moyennes de marche obtenues dans un service régulier et présentant toutes garanties de sécurité.

Il est persuadé que des vitesses semblables à celles-ci ou aux vitesses encore remarquables qui ont été adoptées au 1er septembre pour les trains rapides d'Écosse, pourront être réalisées en France; il s'est borné à constater, sans en discuter les motifs, qu'elles ne le sont pas actuellement.

M. J. GARNIER expose, au sujet de la communication faite dans la dernière séance sur l'application du fonctionnement Compound aux locomotives, qu'il s'est occupé pendant plusieurs années de cette question, en collaboration avec M. Marcel Deprez, et qu'en 1874, il a fait breveter un projet de locomotive comportant l'emploi du système Compound.

Il dépose sur le bureau une description sommaire de ce projet qu'il a déjà présenté au Congrès de Saint-Étienne, en 1875, et sur lequel il se réserve de revenir plus longuement devant la Société des Ingénieurs civils.

M. J. FLEURY présente les observations suivantes au sujet du passage de

la lettre de M. de Coëne, relative aux travaux d'amélioration de la Tees et mentionnée au procès-verbal de la dernière séance.

. . . .

Les travaux de la Tees, dit M. Fleury, ne sont pas encore terminés, mais ce que rapporte M. de Coëne des résultats qu'ils donnent dès maintenant est parfaitement exact. On reçoit aujourd'hui à Middelesbrough et à Stockton des navires calant 7,50 *m* et 8 *m*.

On y est arrivé en délimitant le lit mineur de la rivière par des digues basses et en draguant profondément ce lit dans des terrains consistants. L'estuaire est délimité à son tour par des digues hautes, qui laissent entre elles une surface en forme de cerf-volant, qui a environ 5 000 *m* dans sa plus grande largeur.

Le projet complet comporte, en outre, l'exécution de deux digues avancées et convergentes ne devant laisser entre leurs musoirs qu'une distance de 1 000 *m*. Une seule est actuellement construite, celle du sud.

En réalité, cette digue du sud n'a encore servi que d'abri; elle ne pourra contribuer à resserrer le courant que lorsque la digue du nord sera terminée. Ce n'est qu'à ce moment qu'on pourra ranger l'entrée de la Tees dans la catégorie des embouchures à goulet.

Le procédé d'amélioration de la Tees a réussi grâce à un concours de circonstances favorables, que j'énumère rapidement :

L'estuaire de la Tees est sur une côte exposée à l'Est, avec un estran de faible largeur, et les grandes profondeurs presque aussitôt après. Des courants de marée littoraux, d'une grande énergie, passent devant, transversalement à la direction générale de l'embouchure, et la débarrassent des alluvions.

Il n'y avait donc pas à craindre l'introduction d'une grande quantité d'alluvions dans l'embouchure, le colmatage des parties endiguées et, par suite, la diminution de la capacité du réservoir de chasse.

Il n'en eût pas été de même si l'estuaire de la Tees s'était trouvé au fond d'une baie, où il aurait été le point de convergence unique et forcé des vents, des courants, des alluvions, en masse considérable.

Si la Tees s'était trouvée dans ces conditions on aurait dû opérer différemment et se rapprocher des recommandations du quatrième paragraphe des conclusions de Franzius, qui recommande, dans ces circonstances, de développer l'embouchure en forme d'entonnoir par des élargissements successifs vers le bas. La question n'est pas, en effet, de démontrer que, dans certains cas, les embouchures à goulet sont compatibles avec une bonne navigation. Cela est surabondamment prouvé et depuis longtemps. Ce qui serait dangereux, ce serait de généraliser et de vouloir appliquer ce procédé à des cas où, en l'absence de certaines circonstances essentielles, il serait de nature à faire courir des aléas de l'espèce la plus grave.

M. E. Polonceau demande à dire quelques mots et s'exprime ainsi :

« Nous avons le regret de vous annoncer la perte que la Société des Ingénieurs civils vient de faire en la personne de M. Louis-Paul de Reinhardt, décédé à Vienne, le 16 mai, dans sa cinquante-septième année.

» Reinhardt faisait partie de la promotion de 1857 de l'École Centrale et était, comme vous savez, *membre correspondant* de la Société des Ingénieurs civils, à Vienne.

» Il entra, presque à sa sortie de l'École Centrale, à la Société autrichienne I. R. P. des chemins de fer de l'État; il faisait partie des jeunes ingénieurs que le grand *Maniel* amena avec lui; il débuta d'abord dans le service du matériel et de la traction sous les ordres du baron *d'Engerth*, le savant ingénieur autrichien, puis passa dans le service de l'exploitation, où il parvint jusqu'aux fonctions de directeur du mouvement et du service commercial. Arrivé à cette haute position *par son travail et son seul mérite*, il dirigea pendant vingt ans l'exploitation de la Société autrichienne.

» Nous avons été collègues et amis pendant treize ans et j'ai pu le connaître et l'apprécier à tous les points de vue. Sa situation dans les conférences austro-hongroises des diverses Compagnies de chemins de fer et dans les conférences internationales était exceptionnelle, et son expérience le fit souvent consulter, au Ministère du Commerce, sur les questions importantes.

» Tous ceux d'entre vous qui sont allés à Vienne ont trouvé en lui le collègue le plus affable et le plus dévoué.

» Reinhardt était chevalier de l'Ordre impérial de la Couronne de Fer d'Autriche, de l'Ordre royal belge, de l'Ordre royal d'Albrecht de Saxe, grand officier de l'Ordre royal serbe du Tackowo, commandeur de l'Ordre royal de Roumanie, officier de l'Ordre de l'Etoile de Roumanie, etc. »

M. Herscher joint le témoignage de sa sympathie et de ses regrets à celui qui vient d'être donné par M. Polonceau. Il ajoute que c'est à M. de Reinhardt qu'il est redevable de l'excellent accueil qu'il a reçu à Vienne, lorsqu'il y fut délégué, en 1880, par la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer les distinctions honorifique, suivantes : Sont nommés :

Officier de la Légion d'honneur : M. E. Vuillemin.
Chevalier de la Légion d'honneur : M. C. Zschokke.
Chevalier de l'Ordre de Charles III d'Espagne : M. A. Drouin.

M. le Président donne communication d'une première liste des membres de la Société faisant partie des jurys des récompenses à l'Exposition universelle; le nombre en est de 84 (*).

M. le Président fait remarquer que ce chiffre serait plus élevé encore si plusieurs de nos collègues, qui sont exposants, n'avaient pas manifesté l'intention de concourir pour des récompenses, non seulement pour eux mais surtout pour leurs collaborateurs.

Il est donné communication :

1° de la lettre suivante de M. Mallet :

(*) Voir la liste à la page 910.

« Monsieur le Président,

» Ne pouvant, à mon grand regret, me rendre à la séance, j'ai l'honneur de remettre à la Société la traduction d'un travail de M. Angus Sinclair, ingénieur américain très connu, sur les *locomotives Compound*, question qui est à l'ordre du jour de la séance de ce soir.

» Ce document et les notes dont j'ai cru devoir le faire suivre, et qui ont pour objet de rectifier quelques erreurs relatives, surtout, à l'origine de ce progrès, me paraissent avoir quelque intérêt au moment où, par les communications de M. Pulin et de notre honorable vice-président, M. E. Polonceau, l'importante question qui est, pour ainsi dire, née devant notre Société, il y a douze ans, et dont celle-ci ne s'est, comme nous le savons tous, jamais désintéressée, revient de nouveau devant elle.

» L'application du principe Compound à la locomotive fait des pas de géant, et, en ce moment, ses progrès se mesurent en quelque sorte par jours. Je crois donc pouvoir demander à la Société de conserver quelque temps la question à son ordre du jour. Elle ne pourra qu'y gagner des discussions aussi importantes que celles de 1877, mais plus utiles encore, car elles porteront sur des faits bien établis. Pour ma part, j'espère pouvoir, dans quelque temps, exposer à nos collègues un ensemble de faits absolument inédits qui constitueront peut-être le pas le plus considérable que la question ait fait depuis son origine.

» Je vous demanderai, Monsieur le Président, de vouloir bien, à cet effet, donner communication de ma lettre à la Société.

» Veuillez agréer, etc. »

2° De la lettre ci-après de M. R. Le Brun :

« Monsieur le Président et cher Collègue,

» J'ai l'honneur de vous envoyer le numéro de « *Anales de Ingenieria de Colombia* » rendant compte de la réception que les Ingénieurs Colombiens ont bien voulu me faire à Bogota.

» J'ai été extrêmement touché de cette manifestation, et j'ai pris l'engagement, auquel sûrement vous voudrez bien faire honneur, que les Ingénieurs Colombiens qui visiteront l'Exposition trouveront auprès de nos collègues la bienveillance qu'ils m'ont témoignée en Colombie, et que notre Société leur facilitera, dans la mesure de ses moyens, les études qu'ils viennent faire à Paris.

» Les Annales publient en ce moment la traduction du mémoire sur le calcul des terrassements que la Société a bien voulu honorer de sa médaille d'or.

» Veuillez agréer, etc.

» R. Le Brun. »

M. le Président ajoute qu'il est heureux de saisir cette occasion pour remercier M. R. Le Brun. Répondant, en effet, au discours du Président de la Société des Ingénieurs Colombiens, M. R. Le Brun a rappelé qu'il était membre de la Société des Ingénieurs Civils de France, ajoutant que la réception que l'on voulait bien lui faire s'adressait aussi à notre

Société comme témoignage d'estime et de sympathie réciproque. (*Applaudissements.*)

3° D'une lettre par laquelle M. L.-J. Clerc demande la remise de sa communication sur l'Éclairage électrique de Paris et de l'hôtel de la Société des Ingénieurs Civils à une date ultérieure ;

4° D'une lettre de M. Ch. Lucas accompagnant l'envoi d'un certain nombre d'exemplaires du programme du Congrès International des Architectes en 1889, et demandant que ces exemplaires soient distribués aux membres de la Société ;

5° D'une lettre par laquelle M. F. de Longraire annonce l'envoi d'un Mémoire sur la *Raideur des Cordages* et demande que cette question soit mise à l'ordre du jour d'une prochaine séance.

M. le Président fait savoir que la souscription à l'emprunt de 75 000 *f* est actuellement couverte presque deux fois. Cependant, le Comité a décidé qu'elle resterait encore ouverte jusqu'au 25 du mois courant, afin de permettre à un plus grand nombre de membres de la Société d'y prendre part.

M. A. Brüll indique brièvement quelles ont été les mesures proposées en vue de la réception des Ingénieurs Américains, par la Commission instituée à cet effet, et approuvées par le Comité de la Société.

Ces Ingénieurs appartiennent à trois Sociétés différentes : celle des Ingénieurs civils, celle des Ingénieurs des mines et celle des Ingénieurs mécaniciens. Ils sont au nombre de 220 environ, dont quelques-uns accompagnés de leur famille, ce qui porte approximativement à 300 le nombre total des hôtes de la Société.

Ils débarqueront à Calais le jeudi 20 courant et viendront à Paris par un train spécial que la Compagnie du chemin de fer du Nord a bien voulu, sur la demande de notre Société, mettre gratuitement à leur disposition.

Une délégation, composée d'une douzaine de nos collègues, se rendra à leur rencontre à Calais et les accompagnera jusqu'à Paris. Ce voyage fournira l'occasion d'une visite à l'ascenseur hydraulique des Fontinettes sur le canal d'Aire à La Bassée, pour laquelle toutes les facilités nécessaires ont été accordées par M. Gruson, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et la Société des anciens établissements Cail, constructeur de cet appareil.

M. Brüll poursuit en relatant sommairement les réunions et visites diverses qui auront lieu à Paris, et qui comporteront principalement : la réception officielle des Ingénieurs américains par les Ingénieurs civils français au salon de la Société, à l'Exposition ; une ascension et un déjeuner sur la Tour Eiffel ; des visites par groupes à l'Exposition sous la conduite de Membres de la Société, dont le Comité s'est assuré le concours ; enfin, selon le désir exprimé par nos collègues Américains, des visites dans les Musées, aux Gobelins, à la Manufacture de Sèvres, à l'Institut Pasteur, à la Compagnie des Omnibus, à celle des Petites Voitures, etc...

Ces différentes indications seront précisées, dit M. Brüll, dans une circulaire par laquelle les Membres de la Société seront invités à donner leur concours à la réception.

M. Brüll termine en rappelant que, conformément à une décision déjà portée à la connaissance de la Société, ceux de nos collègues qui prendront part à des réunions donnant lieu à des dépenses, devront payer leur contribution personnelle dont le montant sera indiqué dans la circulaire.

M. le Président remercie M. Brüll des renseignements qu'il vient de donner, et ajoute qu'il est nécessaire, en vue des dispositions de détail à prendre, que ceux des membres de la Société qui veulent participer à la réception des Ingénieurs Américains, s'inscrivent au Secrétariat avant le 15 courant, délai de rigueur.

M. le Président prononce les paroles suivantes au sujet de la *réception du Président de la République par la Société des Houillères du Pas-de-Calais*.

« Notre Président, M. G. Eiffel, ayant été empêché, j'ai eu l'honneur de représenter la Société des Ingénieurs civils à la réception faite, le 1er juin, à M. le Président de la République, par le Comité des Houillères du Nord et du Pas-de-Calais.

Je tiens, tout d'abord, au nom de la Société, à renouveler au Comité des Houillères, les remerciements que j'ai adressés à M. E. Vuillemin, son Président et notre collègue, pour l'invitation et l'aimable accueil fait au délégué de la Société des Ingénieurs civils.

Permettez-moi, mes chers collègues, d'extraire quelques chiffres et considérations du domaine technique, du toast qui a été porté par M. E. Vuillemin, au banquet offert à Lens à M. le Président de la République.

L'industrie des mines est une des plus considérables du nord de la France; 450 millions de capitaux y sont engagés; 54 000 ouvriers y sont occupés, auxquels on répartit 65 millions de salaires, apportant des moyens d'existence à plus de 160 000 personnes.

La production annuelle de houille est de 13 millions de tonnes, représentant les trois cinquièmes de la production totale de la France, laquelle tire en outre de l'étranger un tiers de sa consommation, soit 10 millions de tonnes.

L'initiative intelligente des administrateurs des Compagnies houillères et l'habileté des ingénieurs ont réalisé, surtout dans ces dernières années, des progrès considérables dans l'exploitation des bassins du Nord. En 1850, le bassin du Pas-de-Calais n'existait pas, et celui du Nord produisait seulement un million de tonnes. — Les deux bassins réunis produisent en 1860, 2 millions; en 1870, près de 5 millions; en 1880, 8 millions et demi, et enfin, en 1889, ils produiront 13 millions.

Cette production pourrait se développer rapidement dans de grandes proportions, car on évalue à six milliards de tonnes la richesse des bassins, et on pourrait extraire 20 millions de tonnes si on avait à sa disposition des voies économiques de transports.

Actuellement, on expédie 55 0/0 par chemins de fer, 36 0/0 par voies navigables, et 9 0/0 sont consommés sur place. La Compagnie du chemin de fer du Nord transporte actuellement 9 millions de tonnes, dont les trois quarts, provenant des houillères françaises, lui procurent une recette de 36 millions de francs. C'est là un des grands éléments de la prospérité de cette Compagnie, à laquelle il faut rendre justice pour la libéralité de ses tarifs, qu'elle tend à abaisser dans son propre intérêt et au grand avantage de tous.

Mais le chiffre des transports par chemin de fer ne peut plus s'accroître que dans une certaine mesure, et c'est surtout par des voies navigables économiques qu'on obtiendra un accroissement de débouchés, et, par suite, une production plus grande des houillères. Celles-ci l'ont bien compris, et les remarquables installations de ports d'embarquement que j'ai visités, montrent bien la confiance que les Compagnies de Mines ont dans le développement des expéditions par eau. Elles réclament la création d'une grande voie sur Paris, par suite de l'insuffisance de la voie actuelle, d'ailleurs trop coûteuse. Ainsi, le fret est aujourd'hui le même qu'en 1878, malgré les améliorations apportées à la voie navigable, lesquelles n'ont abouti qu'à une augmentation de la capacité de fréquentation. En 1888, le trafic atteint 3 millions et demi de tonnes. mais pour obtenir ce résultat inespéré, il a fallu travailler nuit et jour aux écluses, soit 20 à 22 heures sur 24, et on conçoit que dans ces conditions, le moindre accident amène forcément des entraves à la navigation, dont les conséquences sont très graves.

Dans des termes excellents, M. Vuillemin a rappelé la part active que M. Carnot a déjà prise à l'étude de ces questions, comme ministre des Travaux Publics et comme président et rapporteur de la Commission des voies navigables, et il a exprimé la confiance que la visite de M. le Président de la République lui montrera la situation exacte de l'industrie houillère du Nord, et amènera de nouveau son intervention pour assurer son développement, qui est d'ailleurs intimement lié aux intérêts généraux du pays. » *(Applaudissements.)*

M. Paul Buquet explique qu'il n'a que quelques mots à dire dans le but de faire constater au procès-verbal la démarche très gracieuse faite, près de la Société, par MM. les Ingénieurs, anciens élèves du Polytechnicum de Zürich, qui sont actuellement réunis à Paris.

La Société amicale de Zürich a tenu sa séance d'ouverture dans l'hôtel de notre Société et elle a eu la bonne pensée de convier à son banquet notre Président, celui de l'Association amicale des ancieus élèves de l'Ecole Centrale et plusieurs de nos collègues, parmi lesquels nos anciens Présidents, MM. S. Jordan et Ch. de Comberousse. M. G. Eiffel s'était fait excuser, mais dans la journée il avait fait faire à nos collègues suisses la visite complète de la Tour, jusqu'au sommet, et il avait eu le plaisir de les recevoir dans un des restaurants de la Tour où il a porté un toast à la prospérité de l'Ecole de Zürich.

Le banquet, présidé par M. Lardy, Ambassadeur de la Confédération Suisse à Paris, était honoré par la présence de MM. Tirard, Président du Conseil; Spuller, ministre des Affaires Étrangères; Faye, ministre

de l'Agriculture; Berger, Directeur général de l'exploitation de l'Exposition, etc., etc.

Dans un éloquent discours très nourri de faits et de chiffres, M. Lardy a esquissé les liens de diverse nature qui tendent à resserrer, de plus en plus, l'union entre la Suisse et la France.

M. le Ministre des Affaires Etrangères a ensuite pris la parole et, en terminant sa réponse à M. Lardy, a établi une comparaison entre l'École Polytechnique de Paris et le Polytechnicum de Zürich, reconnaissant à ce dernier l'avantage d'une organisation plus nouvelle et constatant, avec juste raison, qu'on rencontre des Ingénieurs Suisses sur tous les points du globe.

Comme il ne pouvait pas ne pas être fait mention dans une réunion de ce genre, de la Société des Ingénieurs civils et de l'École Centrale, MM. Buquet et de Comberousse ont successivement demandé la parole et rappelé, aux applaudissements de tous nos collègues de Zürich, quels liens étroits unissent, dans leur communauté d'origine et dans leur but, l'École Centrale, l'École de Zürich et la Société des Ingénieurs civils, dans laquelle nous sommes heureux de compter plusieurs anciens élèves de Zürich.

M. Buquet dit qu'il a remercié nos collègues suisses de n'avoir point oublié, en venant à Paris, qu'ils y trouveraient notre laborieuse Société, ainsi que la vieille mais toujours jeune École Centrale, qui est l'aînée de l'École de Zürich. Il demande que la Société adresse ses plus chaleureux remerciements à la Société des anciens élèves de l'École Polytechnique de Zürich, pour le cordial accueil qu'elle a fait à ses représentants.

Des applaudissements unanimes et répétés suivent la communication de M. Buquet et M. le Président déclare que mention en sera faite au procès-verbal, pour remercier MM. Buquet et de Comberousse, et pour exprimer nos sentiments sympathiques envers nos collègues de Suisse.

M. Benoit-Duportail a la parole pour présenter une *Analyse de l'ouvrage de MM. D.-A. et Ch. Casalonga sur les Marteaux-pilons et les presses hydrauliques appliqués aux travaux de forge et de chaudronnerie.* Il s'exprime comme suit :

« L'important ouvrage de MM. D.-A. et Ch. Casalonga contient des documents historiques et techniques dont une partie a été fournie par M. G. Boutmy, élève de Bourdon, et dont j'ai pensé qu'il serait utile de conserver les traces dans nos publications.

Il a été fait pour répondre au programme du concours fondé par M. Chalas à la Société des anciens élèves des Écoles d'Arts et Métiers et a obtenu le 1er prix.

Les auteurs ont dû rester dans les limites du programme qui leur était tracé et n'ont pas parlé des engins dont on se servait avant l'invention des marteaux-pilons.

Quant à nous, qui n'avons pas les mêmes raisons pour nous limiter, il ne nous a pas paru inutile de dire quelques mots sur les martinets qui étaient les principaux instruments de la grosse forge, il y a à peine

un demi-siècle, et qui ont tellement disparu dans ces dernières années qu'une partie des plus jeunes d'entre nous les connaissent à peine.

Un martinet était un marteau d'un poids relativement considérable emmanché d'une longue et forte pièce de bois munie de deux tourillons et pivotant autour de leur axe, quand elle avait été soulevée en un certain point de sa longueur par une came montée sur un arbre animé d'un mouvement de rotation, puis retombant par son propre poids.

On distinguait trois espèces de martinets :

1° Les martinets *à bascule*, dans lesquels le prolongement du manche était attaqué de haut en bas, par la queue, de manière à les faire *basculer*; leur poids variait de 50 *kg* à 250 *kg* et le nombre de coups de 150 à 300 par minute. Ils servaient en général à l'étirage des petits fers.

2° Les martinets *à soulèvement*, dans lesquels les manches n'avaient pas de prolongement, et qui étaient *soulevés* par les cames près de la tête du marteau ; leur poids variait de 200 *kg* à 400 *kg*, et le nombre de coups de 90 à 120 par minute ; ils étaient employés ordinairement pour l'étirage des gros fers.

3° Enfin les marteaux *frontaux* dans lesquels le tambour moteur était placé en avant et dont la tête ou *front* présentait une disposition spéciale pour recevoir le choc de la came ; en général, le marteau et son manche ne formaient qu'un seul bloc de fonte ; leur poids, qui paraissait énorme, variait de 2 000 *kg* à 6 000 *kg*, et le nombre de coups de 60 à 80 par minute ; ils servaient au *cinglage* de la loupe provenant de l'affinage pour la fabrication des fers puddlés.

C'est avec les martinets que MM. Cavé et Hallette d'Arras ont fabriqué pour nos premières locomotives des essieux coudés qui ont donné des parcours tout à fait extraordinaires atteignant jusqu'à 400 000 *km*.

Les martinets ont été longtemps les instruments fondamentaux des forges et il m'a paru juste de faire rapidement ici leur oraison funèbre.

Revenons maintenant aux marteaux-pilons.

Il convient de faire d'abord une remarque que je dois à l'obligeance d'un de nos collègues les plus sympathiques, à savoir que :

Indépendamment des martinets, on employait aussi autrefois, dans les grandes forges, des moutons plus ou moins lourds, mus soit par traction directe à bras d'hommes, soit à l'aide de treuils, et dont la disposition était analogue à ceux dont on se sert encore pour le battage des pieux et pour l'essai des essieux au choc.

On les employait notamment pour souder les ancres de navires et pour couper les fers de gros échantillons.

Ces moutons conduisaient naturellement, en leur appliquant un moteur à vapeur, aux marteaux-pilons, dont la masse frappante reçoit encore parfois le nom de mouton.

Recherchant l'origine du marteau-pilon, MM. Casalonga disent que deux pères ont eu l'honneur de lui avoir donné le jour : François Bourdon, en France, et James Nasmyth, en Angleterre, qui en ont conçu l'idée séparément et à peu près simultanément : Bourdon se fit breveter en avril 1842 et Nasmyth en juin de la même année.

Le point important c'est que Bourdon a eu le mérite de construire

le premier marteau-pilon et de faire la première application dès la fin de **1840**, un an et demi avant la date de son brevet et celle de la patente de Nasmyth.

Le poids de ce premier marteau (1), était de 2 500 *kg* et la hauteur de chute de 2 *m*.

Le bâti était composé de deux couples de montants ou jambages en fonte, reliés par des entretoises en fonte formant glissières ; ils étaient cintrés à la partie inférieure, de manière à former des arcades permettant de circuler facilement autour de l'enclume.

Ils reposaient chacun sur un massif en maçonnerie et étaient reliés à la partie inférieure par une grande plaque de fondation et à la partie supérieure par un entablement recevant le cylindre à vapeur.

Le marteau était guidé par les entretoises des jambages formant glissières.

La chabotte sur laquelle reposait l'enclume reposait elle-même sur un massif composé de deux ou plusieurs lits de fortes pièces de bois croisées entre elles et formant quadrillage.

Depuis plusieurs années, on a remplacé, dans le bassin de la Loire, le massif en bois par une couche de sable de 1 *m*.

Dans l'origine, les jambages étaient étayés par quatre jambes de force qui n'ont pas tardé à être supprimées.

L'expérience ne tarda pas à montrer tout le parti que l'on pouvait tirer de cette belle invention et Bourdon établit, *d'une part*, des marteaux de 1 800 *kg* et de 1 500 *kg* et même de 1 000 *kg* au minimum, et *d'autre part* des marteaux de 3 000 *kg* et de 5 000 *kg*.

Dans le type définitif (2) les jambages, réduits à deux, ont été bifurqués à la partie inférieure, de manière à former des arcades latérales, comme dans le premier type.

Pour les petits marteaux, Bourdon rendit les jambages solidaires avec la chabotte dans laquelle ils sont encastrés.

Le poids des marteaux a été augmenté successivement, et, après des marteaux de 10, 15, 20, 25 *t*, on est arrivé au Creusot, aux aciéries de Terni, en Italie, aux usines de Saint-Chamond, chez les frères Marrel, aux usines de Frédéric Krupp, à Essen, à des marteaux de 100 *t*, qui sont la limite actuellement atteinte.

Il a fallu recourir pour ces énormes marteaux à des dispositions spéciales pour le bâti et pour la chabotte.

La chabotte du marteau de Terni et celle de Perm, en Russie, pèsent l'une 998 *t* et l'autre 1 000 *t* et ont été coulées sur place d'une seule masse ; celle du Creusot ne pèse que 720 *t* et est composée de trois assises superposées.

Les praticiens admettent que la chabotte doit avoir six fois le poids du marteau pour le fer et dix ou douze fois pour l'acier.

Dans le bâti du Creusot les jambages sont composés de parties assemblées solidement entre elles (3).

(1) Voir Casalonga, fig. 1 et 2, page 23.
(2) Voir Casalonga, fig. 7 et 8, page 27.
(3) Voir Casalonga, fig. 19, page 40.

Le bâti de Terni dont la disposition est due à M. Chalas (1), est composé de bandes de tôle assemblées par des rivets. Les jambages sont reliés par deux traverses de construction semblable qui supportent les glissières; celle supérieure porte en outre le cylindre. L'ensemble constitue un chevalet en forme de pyramide rectangulaire dont les jambages sont les arêtes et qui repose sur les fondations par sa grande base. La base supérieure porte un chemin circulaire pour un pont roulant destiné à la manœuvre des pièces.

L'industrie ayant besoin de marteaux très légers, Farcot imagina son marteau à double effet (2), pour l'étampage des petites pièces. Le bâti est formé par un montant unique en col de cygne pour faciliter le service.

Les puissants marteaux de Terni et de l'arsenal de Wolwich sont aussi à double effet, mais ce système fatigue beaucoup les tiges et son application ne s'est pas développée.

On a essayé d'appliquer l'automaticité; mais elle ne présente pas d'avantages, puisqu'il faut toujours un homme pour régler la course.

Pour empêcher la projection du piston dans l'espace, quand la tige vient à se rompre, on a adopté différentes dispositions, entre autres l'application à la partie supérieure d'une forte traverse munie d'un tampon à ressorts Belleville.

Dans les marteaux du Creusot, on a placé à la partie supérieure une cuvette dont le couvercle est muni de deux soupapes (3), l'une de contrepression, s'ouvrant de bas en haut, qui ne fonctionne que sous une pression déterminée pour limiter la course du piston, l'autre dite *atmosphérique*, s'ouvrant de haut en bas, pour permettre la rentrée de l'air quand la pression intérieure descend au-dessous d'une certaine limite.

Il convient de signaler que les bâtis ont reçu un certain nombre de dispositions spéciales, suivant l'emploi auquel ils étaient destinés.

Différents ingénieurs ont songé naturellement à remplacer la vapeur par d'autres forces.

A Terni, on a appliqué l'air comprimé en utilisant une chute d'eau dont on disposait.

M. Robson s'est servi de moteurs à gaz; son marteau peut être commode dans de petites industries.

Enfin, M. Marcel Desprez a appliqué l'électricité, et a, paraît-il, obtenu des résultats satisfaisants.

L'étude de MM. Casalonga donne sur les dispositions appliquées aux organes des marteaux-pilons des détails très utiles et très intéressants, mais qu'il serait trop long d'exposer ici.

Un chapitre spécial est consacré aux marteaux mécaniques, qui, il faut bien le dire, tiennent plus des martinets que des marteaux-pilons et dont une partie ou leurs similaires existaient longtemps avant ceux-ci.

Dans les marteaux de Longworth, de Duncan, de Patterson, la commande est opérée par des bielles, des balanciers, des plateaux à mani-

(1) Voir Casalonga, fig. 20, page 41.
(2) Voir Casalonga, fig. 9, page 29.
(3) Voir Casalonga, fig. 3, page 50.

velles, des excentriques; dans celui de Georges Booth, le balancier est formé par un ressort à lames analogue aux ressorts de suspension des voitures; dans le marteau de M. Halot et dans certains marteaux à planer, la tige de la frappe est soulevée par des rouleaux à friction dont le desserrage entraîne la chute.

Pour terminer cette série, nous parlerons des marteaux de M. Schmerber, dont la disposition ne diffère des marteaux-pilons ordinaires que parce que la vapeur est remplacée par un mouvement mécanique.

Le marteau proprement dit présente un évidement dans lequel se meut une came qui produit le soulèvement. L'entablement du bâti et le haut du marteau sont munis de tampons en caoutchouc qui adoucissent le choc et augmentent la rapidité et la force du coup.

La seconde partie de l'ouvrage est consacrée aux presses hydrauliques, qui présentent des avantages dans certains cas et qui paraissent devoir être employées concurremment avec les marteaux-pilons.

Elles forgent et soudent plus à cœur, et la perfection de la forme est tellement grande que leur aspect est le même que celui des pièces fondues.

Il paraît que la première application a été faite, il y a plus d'un siècle, par les frères Perrier de Chaillot à des presses monétaires.

MM. Casalonga établissent trois catégories de presses hydrauliques appliquées aux travaux de forge et de chaudronnerie :

1° Les marteaux hydrauliques dans lesquels le mouton est soulevé par la pression hydraulique et retombe par son propre poids;

2° Les presses à matricer, dans lesquelles la pression agit lentement soit en dessus, soit en dessous ;

3° Les presses hydrauliques à forger proprement dites, qui sont, en quelque sorte, des marteaux-pilons à double effet.

Dans la première catégorie se trouve le marteau hydraulique de Guillemin et Menary, dans lequel le piston, quand il est arrivé à la fin de sa course, après avoir été soulevé par l'eau venant d'une pompe, fait marcher une came qui ouvre l'échappement pour permettre au marteau de remonter. Son invention remonte à 1851.

Dans la presse à matricer de Brugnon et Goudet, spécialement destinée à la fabrication des bandages, la barre à souder, préalablement cintrée, est placée sur un plateau recevant la pression hydraulique par la partie inférieure et sur lequel la contrematrice est descendue au moyen d'une presse *à vis* placée à la partie supérieure.

Dans la presse de Fox, qui remonte à 1847 et qui rentre dans la troisième catégorie, ainsi que les suivantes, le piston descend et produit la compression par la pression de l'eau venant d'une pompe; l'opération terminée, on introduit la pression dans un second cylindre, où se trouve un piston dont la tige relève celui de la presse. Le piston porte à sa partie inférieure un contrepoids formant accumulateur.

Cette presse a servi de type à celle de Bourdon et à celle d'Haswell.

Dans la presse à forger Benoit-Duportail, l'eau venant de la pompe se rend dans un réservoir supérieur, d'où elle redescend dans le corps de presse sur le piston. On exerce ensuite une pression aussi considérable

que l'on veut au moyen de pompes de compression. L'opération terminée, on décharge la presse et le piston remonte au moyen d'un contrepoids agissant au bout d'un levier et d'une tige placée à la partie supérieure. Cette presse remonte à 1857.

Le marteau hydraulique à forger de Bourdon, qui date de 1862, est presque identique avec la presse de Fox ; l'eau sous pression arrive dans le pot ou corps de presse, qui est en communication avec un accumulateur ; elle passe ensuite dans un cylindre secondaire où elle soulève un piston qui relève celui de la presse.

Là, s'arrête l'historique des premières applications de la presse aux travaux de forge et de chaudronnerie.

Différentes dispositions se rapprochant plus ou moins de celles ci-dessus ont été adoptées par Siemens, Twedell, Bessemer, Cammell et Tannelt, Walker et Cie.

La presse la plus puissante est actuellement celle des Forges de Châtillon et Commentry, qui atteint quatre millions de kilogrammes et qui est très bien installée.

La presse Haswell, qui est très perfectionnée et très puissante, atteint une pression de trois millions de kilogrammes ; le type est le même que celui de la presse de Fox. Son brevet date de 1860.

Une machine à vapeur horizontale commande deux pompes aspirantes et foulantes, également horizontales, placées sur un même axe, dont l'une sert à donner la pression et l'autre à relever le piston.

L'appareil se compose en outre de deux sommiers très résistants compris entre les montants du bâti, dont l'un repose sur le sol et sert d'enclume ; le sommier supérieur contient le corps de presse dans lequel se ment un piston auquel est fixée la frappe.

Pour terminer leur étude, MM. Casalonga parlent rapidement des grands laminoirs, considérés comme un intermédiaire entre les marteaux-pilons et les presses hydrauliques. Ces appareils, disent-ils, ménagent mieux le métal que le marteau, sans pouvoir le forger à cœur aussi bien que la presse.

Ils citent une forge où l'on avait obtenu des résultats peu satisfaisants avec un marteau un peu faible peut-être pour la fabrication des blindages et où l'on en a obtenu d'excellents avec des laminoirs de 1,50 *m* de diamètre et 4,50 *m* de table dont la manœuvre exige un embrayage hydraulique pour produire le changement de marche.

M. D.-A. Casalonga, remercie en son nom et en celui de son fils et collaborateur, M. Benoit-Duportail d'avoir présenté avec autant de conscience l'analyse de leur ouvrage. Il expose que ce travail a eu pour objet principal, à l'instigation de M. P. Chalas, la comparaison entre le marteau-pilon et la presse hydraulique pour le forgeage des grosses pièces. Leur étude les a conduits à conclure que, suivant les cas, la préférence doit être donnée tantôt au marteau-pilon, tantôt à la presse, mais qu'en thèse générale, la supériorité appartient à cette dernière.

Cette conclusion a frappé, ému même, certains maitres de forges habitués aux succès avec le marteau-pilon.

Cependant les circonstances semblent vouloir sanctionner de jour en jour la conclusion des auteurs.

Plusieurs grandes forges se sont décidées à installer de puissantes presses hydrauliques, et déjà une seule maison en a livré quinze sur le continent, dont deux chez Krupp, l'une de 2 000 *t*, l'autre, la plus puissante de toutes, de 5 000 *t*. Le Creusot en a adopté une de 2 000 *t* et les forges de Châtillon et Commentry une de 4 000 *t*, de même force que celle de MM. Brown et Cie de Sheffield.

On a comparé, en Angleterre, le travail fait par un marteau-pilon de 50 *t* et celui d'une presse hydraulique de 4 000 *t*, ne travaillant en réalité qu'à 2 000 *t*. Un lingot de 36 000 *kg*, destiné à la confection d'un canon de 15 *cm*, n'a été forgé au pilon qu'en trois semaines avec trente-trois chaudes; avec la presse, il a été achevé en quatre jours avec quinze chaudes seulement.

MM. Casalonga pensent que ces résultats doivent attirer l'attention des spécialistes, d'autant que les presses peuvent être appliquées aussi bien au forgeage des grosse pièces qu'au gabariage de ces épaisses plaques de blindage qui atteignent 70 à 75 *cm* d'épaisseur.

M. E. Polonceau signale qu'à Vienne, les ateliers de la Société Autrichienne des chemins de fer de l'Etat faisaient usage d'une presse Haswell qui donnait toute satisfaction quand on l'employait pour faire subir des torsions à des pièces de forge, mais dont l'emploi laissait à désirer pour la fabrication des pièces matricées.

M. Benoit-Duportail remercie M. Casalonga d'avoir fait connaître l'extension qu'à prise l'emploi de la presse hydraulique, car ce renseignement présente d'autant plus d'intérêt pour lui qu'il a, dit-il, été le premier à s'occuper de cette question en France. (*Applaudissements.*)

M. le Président rappelle que c'est à l'ingénieur français François Bourdon que sont dus les marteaux-pilons. Il remercie MM. Benoit-Duportail, Casalonga et Polonceau, et exprime l'avis que l'application de la presse hydraulique au travail des métaux n'a pas encore pris en France le développement qu'elle devrait avoir.

M. A. Lencauchez expose que certains insuccès auxquels se sont heurtés des maîtres de forge français dans l'emploi des presses hydrauliques, provenaient de défectuosités dans la robinetterie de ces appareils.

Il exprime l'avis qu'il ne faut pas reculer devant la dépense d'installation de presses bien agencées, dont l'emploi donnera toujours d'excellents résultats à la condition, toutefois, qu'il y ait un rapport convenable entre la pression exercée et la masse de la pièce à forger.

Vu l'heure avancée, la Communication de M. E. Polonceau sur l'*application du fonctionnement Compound aux locomotives* est remise à la prochaine séance.

La séance est levée à dix heures un quart.

1re LISTE

DES

MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ

Faisant partie des Jurys des Récompenses à l'Exposition Universelle de 1889.

Groupe II.

(Classes 6, 7 et 8.)

MM. Jacquemart (A.).
Mesureur (J.).
Portevin (H.).

(Classe 9.)

Cauvet (A.).

(Classe 10.)

Dumont (K.-L.).

(Classe 11.)

Parrot (G.).

(Classe 13.)

Colonel Laussedat (A.).

Groupe III.

(Classe 19.)

MM. Appert (L.).
Biver (A.).

(Classe 20.)

Martin (A.).
Redon (M.).

(Classe 25.)

Coutelier (Ed.).

(Classe 26.)

Garnier (P.).

(Classe 27.)

Grouvelle (J.).
Luchaire (L.).
Muller (E.),

Groupe IV.

(Classe 30.)

MM. Noblot (A.).
Wallaert (A.).

Groupe V.

(Classe 44.)

MM. Boas (A.).
Boutmy (Ch.).
Holtzer (L.).
Létrange (L.).
Mignon (J.-B.).
Remaury (H.).
Rogé (X.).

(Classe 45.)

MM. de Bonnard (A.).

(Classe 46.)

Decaux (A.).

Groupe VI.

(Classe 48.)

MM. Jordan (S.).
Wurgler (A.).
Petitjean (G.).
de Quillacq (A.).

(Classe 49.)

Albaret (A.).
Chabrier (E.).
Liébaut (A.).
Tresca (A.).

(Classe 50.)

Egrot (A.).
Hignette (J.).

(Classe 51.)

Bérendorf (E.).
Deutsch (H.).
Perret (M.).

(Classe 52.)

Bourdon (E.).
Farcot (J.).
Féray (L.).
Levalley (A.).
Piat (A.).
Weyher (L.).

(Classe 53.)

Bouhey (E.).
Léon (L.).
Rouart (H.).

(Classe 54.)

Imbs (A.).

(Classe 55.)

Denis (G.).

(Classe 56.)

Godillot (A.).
Hurtu (A.).
Legat (M.).

(Classe 57.)

Panhard (R.).

(Classe 58.)

MM. Dehaitre (F.).
Ermel (F.).

(Classe 59.)

Périssé (S.).

(Classe 60.)

Binder (H.).
Mauclère (G.).
Quenay (E.).
Pozzy (S.).

(Classe 61.)

Chevalier (H.).
Desgrange (H.).
Level (E.).
Salomon (L.).

(Classe 62.)

Jousselin (P.).
Sautter (L.).

(Classe 63.)

Guillotin (A.).
Jolly (C.).
Michau (F.).
Molinos (L.).
Moisant (A.).
Reymond (F.).
Trélat (E.).

(Classe 65.)

Pérignon (E.).

(Classe 66.)

Canet (G.).

Groupe VII.

(Classes 70, 71 et 72.)

MM. Prevet (Ch.).
Dufresne (P.).

(Classe 73.)

Cirier (L.).
d'Adelsward (G.).
Prangey (L.).

(Classe 74.)

Lavalard (E.).

Séance du 21 juin 1889.

Présidence de M. G. Eiffel

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 juin est adopté.

La Société a reçu une lettre par laquelle M. G. Leloutre annonce qu'il a l'intention de présenter à la Société un mémoire intitulé « Théorie générale de la machine à vapeur », demande qu'il lui soit réservé dans une prochaine séance le temps nécessaire à l'exposition des différentes questions que comporte ce travail et dont il donne le sommaire.

M. le Président a le plaisir de faire connaître que par décret en date du 19 juin, ont été nommés membres du Jury des Récompenses ceux de nos collègues dont les noms suivent (*).

Classe 19. — *Cristaux, verreries, vitraux.*

M. Renard, Léon.

Classe 27. — *Appareils et procédés de chauffage. Appareils et procédés d'éclairage non électrique.*

MM. Cornuault et Piet.

Classe 50. — *Matériel et procédés des usines agricoles et des industries alimentaires.*

M. Boire, Emile.

Classe 56. — *Matériel et procédés de la couture et de la confection des vêtements.*

M. Gotendorf, Silvanus.

Classe 59. — *Machines, instruments et procédés usités dans divers travaux.*

M. Bougarel, Frédéric.

Classe 65. — *Matériel de la navigation et du sauvetage.*

M. Rueff, Jules.

(*) Voir au procès-verbal du 7 juin une première liste de membres de la Société faisant partie des Jurys des Récompenses.

M. le Trésorier présente, comme suit, l'exposé de la situation financière de la Société :

SITUATION FINANCIÈRE AU 1er JUIN 1889

Nombre des sociétaires :

Le nombre des sociétaires était, au 10 décembre 1888, de . .	2 198
Pendant le premier semestre 1889, les admissions de membres ont été de 72 (dont 2 membres honoraires).	72
formant un total de	2 270
dont il faut déduire, par suite de décès, démissions et radiations	34
Le total des membres de la Société au 1er juin 1889, est donc de	2 236

Situation de la caisse au 1er juin 1889 :

Le tableau des recettes et dépenses, annexé au compte rendu financier, peut se résumer de la manière suivante :

Le solde en caisse, à la date du 10 décembre 1888, était de	15 391,24
Les recettes effectuées du 11 décembre 1888 au 31 mai 1889, se sont élevées :	

RECETTES

1° Pour le fonds courant :

Cotisations	18 186 »	
Droits d'admission	1 725 »	
Intérêts des valeurs de portefeuille	3 054,72	
Vente de Bulletins, Mémoires, Abonnements et Annonces . .	4 434,95	
Locations des salles de séances .	4 350 »	
		31 750,67

2° Pour le fonds inaliénable :

Exonérations	1 200 »	
Dons volontaires.	375 »	
		1 575 »

Le total des encaissements s'élève ainsi à .	33 325,67	33 325,67
et le montant des recettes effectuées au 1er juin, en y ajoutant l'encaisse au 10 décembre 1888, à		48 716,91

DÉPENSES

1° Par le fonds courant :

Impressions, planches et croquis	9 666,50		
Affranchissements et divers. . .	3 389,51		
Appointements et travaux supplémentaires	11 774,90		
Frais de bureau et sténographie.	2 251,80		
Prêts et secours.	1 120 »		
Legs Fusco (supplément d'honoraires).	200 »		
Contributions, entretien de l'immeuble.	4 999,85		
Solde de divers travaux prévus dans l'exercice précédent. . .	2 925,80		
Exposition de 1889 (emplacement et installation)	4 965,90		
Achat de livres pour la Bibliothèque.	476,60		
Pension de Mme Vve Husquin de Rhéville.	1 500 »		
		43 270,86	
2° Par le fonds inaliénable :			
Achat pour le fonds inaliénable de huit obligations du Midi.		3 262 85	
Total des sommes employées à la date du 31 mai 1889.		46 533,71	46 533 71
Le solde en caisse, à la date du 1er juin 1889, est donc de.			2 183,20

Ces divers chiffres demandent à être rapprochés et appellent quelques observations.

Tout d'abord, il y a lieu de noter que le montant des encaissements opérés, à titre de cotisations, ne s'est élevé qu'à la somme de 18 186 *f*, alors que dans la période correspondante, il était, l'année dernière, de 29 052,25 *f*, et qu'il devrait atteindre normalement le chiffre de 30 000 *f* chaque semestre. Ce retard dans le versement des cotisations a rendu nécessaire l'emploi des disponibilités de la caisse, mesure qui a été considérée comme préférable à la réalisation d'une partie de nos valeurs du portefeuille : vous remarquerez toutefois que le retard apporté dans le versement des cotisations nous crée, en apparence, une situation anormale, en ce sens que les dépenses du premier semestre se sont élevées à 43 270,86 *f*, alors que les recouvrements n'ont été que de 31 750,67 *f*; je ne saurais donc trop insister auprès de nos collègues sur la nécessité d'acquitter le plus tôt possible les cotisations courantes.

L'ouverture d'une nouvelle comptabilité, établie en partie double, nous permet de vous présenter le bilan de la Société qui a été dressé

dans la forme ordinaire à la date du 31 mai 1889 ; il révèle cette situation à laquelle il convient d'apporter promptement remède; le montant des cotisations dues à la date du 31 mai, en ne comprenant, pour l'année 1889, que la moyenne afférente aux cinq premiers mois de l'exercice. s'élève à la somme de 23 137 *f*. Je ne doute pas, en présence de ce chiffre, que l'appel que j'adresse à ceux de nos collègues qui n'ont pas encore effectué le paiement de leur cotisation ne soit entendu.

A l'actif de notre bilan sont portés :

L'Hôtel de la Société pour. . . . . Fr.	278.706,90
Notre portefeuille, représenté par 432 obligations du Midi, et un titre de 100 *f* de rente, portés au prix d'achat pour	161 210,49
Les espèces en caisse	2 183,20
Les achats d'ouvrages faits pour la Bibliothèque.	476,60
Nos débiteurs (cotisations arriérées au 31 mai 1889) . . .	23 137 »
Le mobilier garnissant l'Exposition de la Société.	1 790,60
Total. . . . . . Fr.	467 504,79

Au passif figurent :

La valeur de deux obligations, restant à rembourser sur l'emprunt contracté en vue de la construction de l'Hôtel. Fr. et dont l'une, appartenant à M. Jordan, va nous être généreusement abandonnée.	1 000 »
Nos créanciers (pour impressions, planches et reliure) . .	12 106,30
Les prix divers (échus ou en cours, s'élevant à).	5 286,62
Le compte « Fonds de Secours ».	468,37
Le montant des dons et exonérations, non employés, et qui grossiront d'autant, après remploi, le fonds inaliénable.	2 791,07
Le capital social, montant à.	445 852,43
Chiffre égal. . . . Fr.	467 504,79

L'avoir de la Société au 10 décembre 1888 s'élevait à.	451 045,78
Il n'est aujourd'hui que de	445 852,43
Il a donc diminué de. . . . . Fr.	5 193,35

Cette diminution est due à plusieurs causes :

1° Aux charges exceptionnelles inhérentes à l'année 1889 qui ont nécessité un personnel plus considérable qu'il ne l'était l'année précédente ; aussi nos frais de bureau, comprenant également les frais du nouveau classement de la Bibliothèque, se sont-ils accrus de.	4 231 »
2° A l'emploi qui a été fait de partie des fonds portés au compte secours, et dont votre Comité a fait usage, par suite d'une circonstance exceptionnelle, dans une mesure plus large que d'ordinaire, ce qui a occasionné une charge supplémentaire de	1 120 »
3° A la participation de la Société à l'Exposition, dont les dépenses à ce jour représentent	4 965,90

4° Au paiement du solde de divers travaux prévus au budget précédent.	2 925,80
Ces sommes représentent un ensemble de dépenses exceptionnelles de . . . . Fr.	13 242,70

Si ces dépenses avaient pu être ajournées, notre avoir s'élèverait par suite à la somme de 459 095,13 *f* et serait en augmentation de 8 000 *f* environ sur le chiffre de la précédente situation, majoration qui correspondrait aux accroissements normaux des semestres précédents.

La Société a donc agi sagement en décidant de contracter un emprunt spécial pour faire face aux charges extraordinaires occasionnées par l'année 1889 ; les résultats du premier semestre le prouvent jusqu'à l'évidence.

Vous remarquerez que nous n'avons pas porté à l'actif de notre Société sa Bibliothèque, qui a cependant une valeur considérable et qui est estimée à un prix très élevé par un grand nombre de personnes autorisées; toutefois, il a paru bon d'ouvrir un compte spécial aux achats d'ouvrages que nous faisons pour l'alimenter de publications qui ont leur place marquée dans les collections de la Société ; cette manière de procéder a l'avantage de ne pas laisser dans l'oubli un élément important de notre Actif ; nous n'avons pas fait figurer davantage au bilan les nombreuses collections de nos bulletins que nous tenons en réserve, ni la plus-value que l'on obtiendrait à la réalisation sur les prix d'achat de nos valeurs de Portefeuille. Il est, par suite, certain que notre capital réel est bien supérieur au chiffre de 445 852,43 inscrit au bilan.

BILAN AU 31 MAI 1889

ACTIF

Immeuble :		
a. Terrains et frais . . . . Fr.	86 223,90	
b. Constructions et frais	150 814,65	
c. Mobilier et frais d'installation	41 668,35	
		278 706,90
Fonds inaliénable :		
a. Fonds social 71 obligations du Midi. . . .	31 101,60	
b. Legs Nozo 19 » »	6 000 »	
c. Legs Giffard 138 » »	50 372,05	
d. Legs Michel Alcan, 1 titre Rente 3 0/0 . . .	2 775 »	
		90 248,65
Fonds courant :		
204 Obligations du Midi.		70 961,84
Caisse :		
Solde disponible		2 183,20
Bibliothèque :		
Volumes achetés pendant le 1er semestre		476,60
Cotisations :		
a. Cotisations 1888 et cotisations antérieures dues.	8 637 »	
b. Cotisations 1889 (solde restant à payer, basé sur la moyenne afférente aux cinq premiers mois)	14 500 »	
		23 137 »
Exposition 1889 :		
Mobilier garnissant notre installation à l'Exposition		1 790,60
Fr.		467 504,79

PASSIF

Obligations de l'Emprunt immobilier . . . . Fr.			1 000 »
Créditeurs divers :			
a. Imprimerie Chaix (impressions)		9 088,80	
b. Broise et Courtier (planches et croquis) . . .		2 867,50	
c. A. Minot (reliure).		150 »	
			12 106,30
Prix divers :			
Prix annuels.		400 »	
» Nozo, échu.	829,35		
» » en cours	414,63		
		1 243,98	
» Giffard.		3 342,64	
» Michel Alcan.		300 »	
			5 286,62
Fonds de secours			468,37
Valeurs à consolider :			
Sommes devant figurer au fonds inaliénable, après remploi.			
a. Exonérations du 10 décembre 1888 au 31 mai 1889.		1 200 »	
b. Dons volontaires		375 »	
c. Complément de la somme de 4 478 fr. 92 c. prévue au bilan du 10 décembre 1888 pour être versée en fonds inaliénable.		1 216,07	
			2 791,07
Profits et pertes :			
Avoir réel de la Société.			445 852,43
Fr.			467 504,79

COMPTE DES RECETTES ET DÉPENSES

RECETTES

Encaisse au 10 décembre 1888			Fr. 15 391,24
1° Pour le fonds courant :			
Cotisations . . . Fr.	18 186 »		
Droits d'admission	1 725 »		
Intérêts des valeurs de Portefeuille	3 051,72		
Ventes de bulletins, mémoires, abonnements et annonces	4 434,95		
Locations des Salles de Séances	4 350 »		
	31 750,67		
2° Pour le fonds inaliénable :			
Exonérations	1 200 »		
Dons volontaires	375 »		
		575	
Total des Recettes effectuées du 10 décembre 1888 au 31 mai 1889			33 325,67
			Fr. 48 716,91

DÉPENSES

1° Par le fonds courant :			
Impressions, planches et croquis. Fr.	9 666,50		
Affranchissements et divers	3 389,51		
Appointements et travaux supplémentaires	11 774,90		
Frais de bureau et sténographie	2 251,80		
Prêts et secours	1 120 »		
Legs Fusco (supplément d'honoraires).	200 »		
Contributions. Entretien de l'immeuble,	4 999,85		
Solde de travaux prévus pendant l'exercice précédent	2 925,80		
Exposition de 1889 (emplacement général, Installation)	4 965,90		
Achat de livres pour la bibliothèque	476,60		
Pension de Mme veuve Husquin de Rhéville	1 500 »		
		43 270,86	
2° Par le fonds inaliénable :			
Achat pour le fonds inaliénable de 8 obligations du Midi		3 262,85	
Total des sommes employées du 10 décembre 1888 au 31 mai 1889		46 533,71	46 533,71
Solde en caisse au 31 mai 1889			2 183,20
			Fr. 48 716,91

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes.

Les comptes sont approuvés *à l'unanimité.*

M. le Président prononce ensuite les paroles suivantes :

Messieurs,

Il me reste à adresser des remerciements à notre trésorier du zèle qu'il apporte à la gestion et au contrôle de nos finances, et je vous propose de les lui voter par acclamation. *(Applaudissements unanimes.)*

Vous voyez, par l'exposé de notre situation financière, qu'elle ne laisserait rien à désirer, si nous n'avions derrière nous cette part très importante de nos cotisations de 23 000 *f* environ, qu'il y a urgence à voir rentrer le plus tôt possible pour la bonne marche des affaires de la Société, et vous ne m'en voudrez pas d'y insister.

Mes chers Collègues,

Nous avons aujourd'hui à remettre deux des prix que la Société doit décerner cette année : notre prix annuel et le prix Michel Alcan, que nous remettons pour la première fois.

Le premier a été attribué à M. L.-A. Barbet, ingénieur en chef de la Société Cail, pour son remarquable Mémoire *sur la Construction et le Calcul des cylindres de presses hydrauliques ou à air.* Les applications qui ont été faites des vues de l'auteur au bel ascenseur des Fontinettes donnent à ce mémoire une sérieuse importance, et je suis heureux de féliciter M. Barbet de la récompense qui est accordée à son travail. *(Applaudissements.)*

Le prix Michel Alcan a été attribué à M. H. Bonnami, auteur d'une *Théorie sur la fabrication et la solidification des produits hydrauliques.* Ce mémoire contient les aperçus les plus originaux et les plus intéressants sur ce sujet, aperçus qui paraissent confirmés par de nombreuses expériences. M. Bonnami est non seulement un théoricien, mais aussi un praticien des plus compétents. Son mémoire, suivant le désir manifesté par lui-même, a soulevé quelques objections, mais il contribuera certainement à l'avancement de cette grave et importante question de la fabrication des chaux et ciments, au progrès de laquelle M. Bonnami n'aura pas vainement travaillé. *(Applaudissements.)*

J'ai enfin l'agréable mission de remettre les médailles des trois prix qui n'ont pas été distribués l'année dernière, parce que notre graveur, M. Chaplain, n'en avait pas encore terminé le nouveau coin, dû à la libéralité de M. Hersent.

1° Prix annuel. — M. E. Gruner, pour son *Mémoire sur les lois nouvelles d'assistance ouvrière en Allemagne.*

2° Prix Nozo. — M. Borodine, pour son *Mémoire sur les recherches expérimentales sur l'emploi des enveloppes de vapeur et du fonctionnement Compound dans les locomotives, effectuées sur les chemins de fer Sud-ouest Russes.*

3° Prix Giffard. — *Analyse de l'œuvre d'Henri Giffard.*

1er prix : M. A. Gouilly, médaille d'or ;
2e prix : M. D. Casalonga, médaille d'argent.

Je les leur remets avec les nouvelles félicitations de la Société. *(Applaudissements.)*

M. E. Polonceau a la parole pour sa communication sur la *Locomotive Compound.*

(Cette communication n'étant pas de nature à être résumée d'une manière satisfaisante, et devant être insérée très prochainement au Bulletin, nous nous bornerons ici à en faire mention.)

M. le Président remercie M. Polonceau de son intéressante communication *(applaudissements)* et propose d'ajourner la discussion sur la locomotive Compound jusqu'à la publication dans le Bulletin du Mémoire de M. Polonceau, afin que nos collègues puissent prendre connaissance de ce travail et préparer leurs observations.

M. Polonceau dit qu'il est également de cet avis.

M. L. Parent appuie la proposition de M. le Président et de M. Polonceau ; il serait heureux, dit-il, que la discussion fût reportée après le Congrès des Chemins de fer qui doit avoir lieu au mois de septembre.

Dans le cas contraire, étant chargé de rapporter la question Compound au Congrès, M. Parent ne pourrait pas prendre part à la discussion de la Société.

M. A. Mallet serait peut-être dans le même cas ; la Société serait donc privée des renseignements très intéressants que notre collègue si particulièrement compétent dans cette question n'aurait pas manqué de nous donner.

Après un échange d'observations de MM. J. Carimantrand, E. Polonceau et A. Lencauchez, il est décidé que la discussion sur la communication de M. Polonceau aura lieu après l'insertion du Mémoire au Bulletin.

M. Edmond Roy demande, sans entrer dans la discussion, à dire quelques mots à l'appui de certaines appréciations de M. Polonceau.

Le type de machine Compound rend de grands services et a sa raison d'être pour les machines marines, parce que ces machines n'ont d'autre volant que la masse, relativement insignifiante, de l'hélice, pour régulariser le mouvement de rotation ; il est donc bon, pour chercher a régulariser ce mouvement, de viser à régulariser celui de l'effort des pistons sur les manivelles motrices, c'est ce que donne, dans une assez large limite, la machine Compound, et encore mieux les machines dites à cataractes, comparativement aux machines fixes à un seul cylindre et à grande détente, qui peuvent être munies d'un volant puissant, ayant leurs manivelles motrices à angle droit ; la machine Compound ne présente aucun avantage au point de vue de l'économie du combustible, ainsi que le démontre la pratique.

La machine locomotive ordinaire a, pour ainsi dire, une situation intermédiaire entre la machine marine et la machine fixe ; si les organes

du mouvement de rotation, les roues, sur lesquels agissent les bielles, ne représentent pas un gros poids, leur mouvement rotatif étant intimement lié à celui du mouvement rectiligne de l'ensemble de la masse de la machine, il y a de ce fait constitution de volant agissant pour emmagasiner et restituer les excès d'efforts exercés sur le bouton moteur pendant la période d'admission à pleine vapeur. Cet effet est d'autant plus sensible que la locomotive marche à une plus grande vitesse : si l'application du principe Compound aux locomotives pouvait présenter des avantages sérieux aux points de vue de la régularité de marche et de l'économie de consommation du combustible, ce serait donc bien moins pour les machines à grande vitesse que pour celles à petite vitesse.

Le Chemin de fer du Nord a mis en service et expérimenté une locomotive Compound à 4 cylindres, établie et construite par la Société Alsacienne, dont vient de parler M. Polonceau. D'après les résultats d'expérience de cette machine, publiés dans la *Revue générale des Chemins de fer*, l'économie de dépense de combustible a été réduite des deux tiers par la dépense de graissage. Si on tient compte, en outre, de l'accroissement de dépenses de construction, qui est la conséquence de la complication du mécanisme, l'économie finale semble devoir être nulle.

Ces observations, ajoute M. Roy, sont en parfait accord avec celles présentées par M. Polonceau, dont il partage la manière de voir sur l'application du principe Compound aux locomotives.

M. A. Brüll a la parole sur la question de la réception des Ingénieurs américains. Il s'exprime comme suit :

Messieurs, dans votre dernière séance, j'ai eu l'honneur de vous tenir au courant des mesures proposées par la Commission et approuvées par le Comité pour la réception de nos collègues américains.

Ces mesures ont été exécutées. Nous nous sommes tenus en correspondance avec les membres des Sociétés américaines, qui étaient déjà parvenus en Europe et qui représentaient leurs compagnons et nous avons arrêté avec eux les détails du programme qui a été porté à votre connaissance. Ces messieurs, particulièrement M. Chanute qui était à Londres, l'ont fait imprimer et distribuer aux membres de l'excursion en Angleterre.

De plus nous leur avons envoyé un questionnaire en anglais, dans lequel nous demandions à chacun d'eux à quelle excursion il lui plairait de prendre part, et dans quel groupe il désirait être, pour les visites à l'Exposition.

Vous savez tous combien les promenades dans ces lieux où il y a, à côté des questions techniques, tant d'autres attractions, deviennent facilement désordonnées. La Commission d'organisation a cherché à y mettre de la méthode, et son système a été de partager nos trois cents visiteurs en sept groupes pour l'Exposition, et en trois ou quatre groupes pour les autres excursions.

De plus, par une circulaire nous avons demandé à chaque membre de notre Société s'il lui plaisait de prendre part à cette réception, en servant de guide aux Américains. Il nous est parvenu cent cinquante réponses

affirmatives, de sorte que nous avons trouvé, parmi ces cent cinquante personnes, en les disposant pour constituer les groupes, tout le concours nécessaire pour l'organisation de ces promenades.

A la suite de ces préparatifs, l'arrivée de nos hôtes ayant été décidée pour hier, 20 juin, à midi et demi, à Calais, nous avions formé une délégation de dix à douze personnes, qui ont pu s'y trouver. Votre bureau était représenté par MM. V. Contamin et P. Jousselin, Vice-Présidents de la Société, notre Président, M. G. Eiffel, n'ayant pas pu prendre part à ce voyage.

Un train spécial a été mis gratuitement à notre disposition, pour le transport des Américains, par la Compagnie du chemin de fer du Nord, sur la demande de notre Président. La Compagnie du Nord a chargé un de ses Administrateurs de venir au-devant de nos invités, et M. Hottinguer a bien voulu nous accompagner depuis Calais jusqu'à Paris, en nous faisant gracieusement les honneurs du train spécial.

Vers midi et demi, le bateau est arrivé à Calais, pavoisé des couleurs américaines, françaises et anglaises. Après avoir salué nos hôtes de nos acclamations, nous avons immédiatement abordé les chefs de l'expédition : M. le Président honoraire, Whittemore, ancien Président des Ingénieurs civils de New-York, et le Président actif, M. Towne, Président actuel de la Société des Ingénieurs mécaniciens.

Après eux viennent deux Présidents, MM. Chanute, ancien Président de la Société des Ingénieurs civils et Woodbury, vice-président de la Société des Ingénieurs mécaniciens. Le secrétaire est M. Bond, remplaçant M. Kirchoff, qui a fait la préparation de l'expédition et a résigné tout récemment ses fonctions.

Ces messieurs, accompagnés de 75 ou 80 dames et demoiselles, sont arrivés à Calais à midi et demi. Après s'être réconfortés un peu au buffet, ils ont pris avec nous le train spécial qui nous a conduits à la station d'Arques, où nous avons pu voir l'ascenseur des Fontinettes. M. l'Ingénieur en chef Gruson a bien voulu faire manœuvrer devant nous cet appareil qui a descendu un bateau et en a remonté un autre. Au bout de trois quarts d'heure, nous sommes remontés dans le train avec nos 300 invités très gais et en très bonnes dispositions.

Aujourd'hui, les chefs de l'expédition ont tenu une réunion dans l'Hôtel de la Société pour organiser les détails de leur séjour, et nous mêmes n'avons cessé de nous occuper de préparer les divers détails du programme. Il pourrait y avoir des points faibles, parce que la chose est difficile; le nombre des excursionnistes est considérable, et les ressources et moyens dont nous disposons sont réduits. Néanmoins, je dois dire que nous avons trouvé auprès de vous tous, un grand dévouement dont la Commission vous remercie, aussi bien pour servir de guides dans les promenades que pour organiser toutes choses.

Demain, a lieu la visite et le déjeuner à la Tour Eiffel; après, si le temps le permet, une visite à l'Exposition.

Pour ces visites, voici comment les mesures ont été prises. Nous avons eu l'acceptation de 40 ou 50 membres de la Société, disposés à servir de guides à sept groupes. La Commission d'organisation a convoqué isolément ces différents groupes, et les a priés de se réunir ici un

soir; ces groupes ont cherché à organiser pour le mieux leur action afin d'éviter le désordre. On a établi un commencement de programme indiquant cinq ou six objets à voir et que les guides se chargeront de compléter.

Si la visite de samedi est un peu écourtée, en raison de l'heure, il est à espérer que celle de mardi sera meilleure. Dans le cas où nous nous trouverions en présence d'Ingénieurs désirant étudier des questions et des travaux importants, rien n'empêcherait qu'un nouveau rendez-vous fût pris pour vendredi ou samedi.

La Commission d'organisation a fait un essai peut-être chanceux, en faisant appel au dévouement des Sociétaires. Nous avons écrit au Président, M. Chanute, de vouloir bien demander, par une circulaire, aux Ingénieurs qui venaient en France, s'ils avaient quelques sujets d'étude qui leur tînt particulièrement à cœur, de les désigner.

Nous avons reçu des réponses d'une centaine d'ingénieurs, que nous accréditerons individuellement auprès d'un certain nombre de membres de la Société qui dirigent des ateliers ou des usines. Cette mesure a été très appréciée de nos collègues américains, qui l'ont acceptée avec beaucoup d'empressement, en nous en exprimant leurs remerciements, à titre provisoire. Il me reste à émettre l'espoir que cela réussira. *(Applaudissements.)*

M. le Président dit que la Société en a également le désir, et adresse des remerciements à la Commission d'organisation, en particulier à M. Brüll, président de cette Commission, qui a pris la plus large part dans l'élaboration du programme des réunions et visites auxquelles sont conviés nos collègues américains. *(Applaudissements.)*

La séance est levée à dix heures et demie.

L'ENSEIGNEMENT COMMERCIAL

CE QU'IL EST ET CE QU'IL DOIT ÊTRE

PAR

M. H. COURIOT

Le commerce est une science et, à ce titre, peut et doit être enseigné. — Par suite d'une sorte de prévention, qui existe en France contre l'enseignement commercial, cet enseignement s'est très peu développé dans notre pays, alors qu'il a reçu une impulsion considérable à l'étranger. Pendant longtemps, on a, en effet, soutenu que le commerce ne s'enseignait pas, qu'il était fait uniquement de traditions et de connaissances pratiques, et que seule, à ce titre, la maison d'affaires pouvait former un bon négociant.

N'avons-nous pas vu accueillir avec la même défaveur, à leurs débuts, l'enseignement industriel et l'enseignement agricole qui, disait-on avec ironie, n'étaient bons qu'à former des ingénieurs et des agronomes de salons, et cependant, pour ceux-ci, l'expérience est faite : il est sorti de nos grandes écoles des phalanges d'hommes instruits qui, préparés par l'étude des lois qui régissent les opérations industrielles et agricoles, ont introduit les méthodes rationnelles aux champs et à l'atelier, au grand profit de notre prospérité nationale !

Le commerce, avec la complexité et la multiplicité des opérations auxquelles il donne lieu de nos jours, est devenu une science à laquelle il faut se préparer, si on veut mettre le pays en mesure de lutter, à armes égales, contre l'invasion des produits étrangers.

La France ne possède-t-elle pas un enseignement spécial, propre à chaque profession : Facultés des lettres, des sciences, de théologie, de médecine, de droit ; Écoles d'agriculture, d'arts et métiers, de guerre, de marine, des mines, des ponts et chaussées, des arts et manufactures, du génie maritime, des constructions navales, de peinture, de sculpture, de pharmacie, d'art vétéri-

naire, de musique, etc., etc. ? Comment pourrait-on admettre que rien ne soit fait pour constituer, en France, un enseignement commercial, approprié à toute une classe de citoyens, qui occupe une place importante dans la nation ?

La classe marchande représente, en effet, 15 0/0 de la population totale de la France ; sa prospérité est intimement liée à celle de l'industrie qui, de son côté, fait vivre 24 0/0, près du quart, de la nation ; ces deux branches de notre activité nationale représentent donc ensemble environ 40 0/0 de la population française.

On conçoit qu'un enseignement spécial, s'adressant à près de la moitié du pays, puisse être fécond en résultats.

Appliqué au commerce, il a l'avantage d'abréger le noviciat, toujours long et coûteux, de la pratique commerciale ; on peut affirmer, en outre, qu'il est de nature à éviter, par la bonne semence qu'il répand autour de lui, bien des ruines, amenées par une connaissance insuffisante des lois qui régissent les marchés commerciaux.

D'ailleurs, ils deviennent de plus en plus rares, aujourd'hui, ceux qui contestent l'utilité d'études spéciales pour la préparation à la carrière commerciale ; ces études donnent, en effet, à ceux qui les ont faites, les moyens d'arriver plus promptement et plus sûrement à l'expérience des affaires, en leur apprenant les connaissances commerciales susceptibles d'être enseignées : lois de la concurrence, goûts, besoins, mœurs, monnaies, langues et productions de la clientèle convoitée, conditions de préparation ou de fabrication des industries concurrentes, modes de transport les plus avantageux, armement, organisation du crédit, contrôle des opérations par la comptabilité, qui peut seule permettre d'établir des prix de revient et de vente exacts, procédés de calcul afférents à ces opérations et relatifs à la Banque, à la Bourse, aux Assurances, aux Probabilités, etc., Législation et Économie politique enfin, cette science qui domine toutes les autres en enseignant les lois qui président aux échanges et à l'encontre desquelles l'homme ne peut aller.

Les matières qui viennent d'être énoncées peuvent toutes être l'objet d'un enseignement précis, et elles seront apprises avec fruit si leur étude est confiée à des praticiens.

Le commerce, presque de détail, pratiqué au commencement du siècle, a fait place à un commerce nouveau ; la civilisation a rendu les pays tributaires les uns des autres, les nouveaux mondes ont créé de nouveaux débouchés et fait connaître de nouveaux pro-

duits, enfin, les inventions modernes ont révolutionné la face du globe, à ce point que New-York est moins éloigné de Paris, aujourd'hui, que ne l'était Marseille au commencement de notre siècle; les ordres d'achat ou de vente peuvent être envoyés et transmis en un instant d'un continent à un autre, et la marchandise achetée arrive, en quelques jours, des régions les plus éloignées, dans les flancs de gigantesques steamers.

A l'ancien état de choses a donc succédé un état nouveau qui réclame des connaissances spéciales. M. Gustave Roy s'écriait avec raison : « Nous avons des Ingénieurs éminents, des industriels habiles, des ouvriers intelligents et adroits; pour faire connaître leurs produits, pour les écouler sur les marchés lointains, nous n'avons pas assez de négociants. » Par ces paroles, l'honorable ancien président de la Chambre de commerce de Paris voulait dire évidemment que le commerce de la France ne compte pas assez de négociants suffisamment armés pour la grande lutte commerciale.

Quelle science, quel coup d'œil et quelle connaissance des hommes et des choses devra posséder le chef d'une grande maison de commerce de nos jours?

Le voici, il est dans son cabinet, et de là il expédie des ordres aux quatre coins du globe, il arme des navires rapides, il possède des flottes entières, toujours prêtes à suivre les instructions qu'il leur transmet instantanément par le télégraphe, il dirige ses marchandises à volonté sur les divers marchés du monde civilisé, selon les cours les plus avantageux qu'il peut rencontrer et les conditions de paiement les plus favorables, il fait circuler des trains entiers sur les voies continentales, empruntant tour à tour et selon les circonstances : chemins de fer, fleuves, canaux ou routes, choisissant ainsi les conditions de transport les plus économiques; ses marchandises trouvent, au point d'arrivée, des engins perfectionnés permettant une manutention rapide et peu coûteuse, à ce moment elles seront peut-être la propriété d'un autre, plusieurs ventes ayant pu être faites pendant le court espace de temps employé par elles à se rendre au lieu de livraison.

Tel est le spectacle que nous offre l'homme d'affaires de nos jours, brassant des millions, commandant à des armées de travailleurs, payant par des différences et des virements sur les places où il opère, dirigeant ses opérations avec méthode, réflexion, calme, sang-froid et connaissance approfondie de tout ce mécanisme délicat et compliqué qu'il doit mettre en œuvre pour

atteindre le but poursuivi : le bénéfice. Un état qui exige de pareilles qualités, des connaissances aussi étendues, constitue une véritable science, et obéit à des règles qui doivent être enseignées.

Si nous avons tracé ce tableau du grand commerce contemporain, c'est pour démontrer qu'il ne suffit plus aujourd'hui, pour faire un bon négociant, de posséder ce que l'on a longtemps appelé la *bosse du commerce*, qu'en un mot la routine ne peut remplacer la science et que le commerce n'est pas une carrière bonne uniquement à recueillir les fruits secs de toutes les autres professions.

Si le commerce est une science, il faut constituer pour cette science un enseignement rationnel, méthodique et gradué, et c'est à l'absence et à l'insuffisance de cet enseignement qu'il faut attribuer les lenteurs du progrès commercial dans un grand nombre de pays. Mais il est certain que l'enseignement commercial doit être approprié aux besoins de ceux auxquels il s'adresse ; de même qu'on n'enseigne pas la stratégie au simple soldat, de même aussi un modeste employé de commerce ne devra pas recevoir une instruction professionnelle aussi étendue que celle que devra posséder le chef de la maison à laquelle il sera attaché. Enfin, même parmi les patrons, les connaissances commerciales ne pourront et ne devront pas être identiques, l'importance et la nature des affaires ou des opérations différant d'un établissement commercial à un autre.

Il y a donc lieu de suivre, en matière d'enseignement commercial, les divisions adoptées dans l'enseignement classique et dans l'enseignement technique industriel, qui correspondent à trois degrés différents d'instruction :

1° Enseignement primaire commercial, qui doit être élémentaire et essentiellement pratique; il formera des employés de commerce et se recrutera parmi les enfants sortant de l'école primaire ;

2° Enseignement secondaire commercial, destiné aux patrons ou à ceux qui sont leurs représentants dans les maisons de commerce;

3° Enseignement supérieur commercial, qui préparera au haut commerce, qui assurera une digne représentation commerciale de la France à l'étranger et qui pourvoira enfin au recrutement indispensable d'un personnel enseignant, capable, instruit et éprouvé.

L'étranger nous a précédés dans l'organisation de l'enseignement commercial; nous trouvons, en effet, cet enseignement répandu

aujourd'hui, à tous ses dégrés, chez nos voisins, et il n'est que temps de suivre leur exemple si nous ne voulons pas voir les grands marchés internationaux fermés aux productions françaises et nos places envahies par les marchandises étrangères.

La vulgarisation des procédés de fabrication a eu pour effet d'enseigner à chacun les moyens de produire à bon marché ; nos grandes écoles techniques n'ont point de rivales à l'étranger; notre matériel, notre outillage sont les plus perfectionnés et nous pouvons produire la plupart de nos articles aux prix où les livrent nos voisins ; ce n'est donc pas du côté du prix de revient, — l'influence résultant du prix de la main-d'œuvre restant en dehors, — qu'il est possible de trouver le remède à apporter à la crise industrielle et commerciale dont souffre le pays; non, mais si nous avons peu à gagner sur les frais de fabrication, en revanche, nous pouvons réaliser un double bénéfice, en faisant les achats de nos matières premières et la vente de nos produits fabriqués dans des conditions plus avantageuses. Il faut, en un mot, rendre l'industrie *commerçante.* Acheter bon marché et vendre cher, tel est l'axiome d'un habile négociant, c'est à ce résultat que doit tendre l'enseignement préparatoire au commerce, et c'est ce but que poursuivent nos concurrents étrangers en répandant sous toutes ses formes l'enseignement commercial dont le rôle est de former à la fois de bons acheteurs et de bons vendeurs.

L'Enseignement commercial à l'Étranger. — Un simple tableau, indiquant en peu de chiffres la population scolaire et le nombre d'écoles existant à l'étranger, montrera, mieux que ne le feraient de longues digressions, les efforts réalisés par nos voisins pour développer chez leurs nationaux les connaissances commerciales.

	Nombre d'écoles commerciales.	Population scolaire à divers degrés.
Allemagne	85	10 000
Autriche-Hongrie . . .	302	45 995
Italie.	513	34 893
Roumanie.	6	708
Russie	6	1 996
États-Unis d'Amérique .	264	51 403

Pour attirer des élèves dans les écoles de commerce il faut que

l'enseignement commercial soit en honneur et qu'il confère des avantages sérieux à ceux qui le suivent. Qu'a-t-on fait dans ce but? En Allemagne, nous voyons un grand nombre d'écoles de commerce délivrer un diplôme de sortie, donnant droit au volontariat dans l'armée germanique, assimilant, en un mot, l'enseignement commercial à l'enseignement universitaire. En Autriche, neuf Académies de Commerce, préparant près de 2 000 élèves, délivrent des diplômes donnant également droit au volontariat dans l'armée austro-hongroise. En Belgique, on a créé des diplômes de bacheliers et de licenciés ès sciences commerciales, qui donnent accès aux hauts emplois commerciaux. En Italie, les Instituts techniques, dans lesquels se préparent le quart des élèves qui se destinent au commerce, délivrent un diplôme d'administrateur comptable (Ragioneri), titre qui aide puissamment au placement des anciens élèves de ces écoles et, par suite, facilite le recrutement dans les établissements d'enseignement commercial. On choisit, en Belgique et en Italie, les agents consulaires parmi les diplômés des écoles supérieures de commerce. Enfin, on dispense même du service militaire les diplômés des écoles belges et allemandes, qui consentent à séjourner un certain temps hors d'Europe.

Ajoutons que l'enseignement commercial ne s'est pas développé seulement dans les pays qui viennent d'être mentionnés et que nous trouvons des écoles spéciales de commerce dans la plupart des nations européennes; il ne faut faire d'exception que pour l'Angleterre, où il est actuellement question d'en créer dans les principaux centres manufacturiers, et pour la Hollande, qui n'en compte que trois.

Si ces deux pays paraissent être restés en dehors du mouvement d'opinion qui s'est produit dans les autres nations européennes en faveur de la création ou du développement de l'enseignement commercial, c'est qu'en Angleterre et en Hollande, le peuple tout entier est commerçant, que la nation n'y forme qu'une sorte de grande école pratique de commerce, où les traditions se perpétuent sans qu'il soit aussi nécessaire que dans les autres pays civilisés, de les enseigner dans un corps de doctrines, à ceux qui se destinent à la carrière commerciale.

On est cependant surpris de voir que l'Angleterre, qui est une nation commerçante par excellence, ne possède pas d'écoles de commerce, et l'absence de ces écoles chez nos voisins est l'argument le plus sérieux qui puisse être opposé à l'utilité de l'enseignement

commercial. Il n'est cependant pas sans réplique, car, comme il vient d'être dit, nos voisins d'outre-Manche se préoccupent de doter d'écoles commerciales les villes de Londres, Liverpool, Glascow, Birmingham, Manchester, Bristol, etc., etc. A Londres, notamment, des cours d'enseignement commercial viennent d'être récemment créés et ont obtenu le plus vif succès; dans l'année écoulée, plus de 400 brevets spéciaux ont été accordés aux jeunes gens qui ont suivi ces cours et les diplômés de cet enseignement commercial sont très recherchés par le haut commerce anglais. Ces fondations montrent que l'Angleterre commence à sentir le besoin de relever le niveau de son instruction professionnelle commerciale, mais il convient d'ajouter que l'Angleterre n'est qu'une vaste maison de commerce où chacun grandit en entendant parler affaires, que les transactions commerciales sont l'objet des préoccupations journalières du peuple tout entier et que dans un tel milieu, avec l'exemple sous les yeux, l'employé se forme promptement à la pratique des opérations commerciales. Enfin, la Grande-Bretagne puise une force dans sa législation particulière, dans la liberté testamentaire, en vertu de laquelle ceux de ses cadets qui se trouvent sans ressources et sans emploi vont tenter la fortune à l'étranger, où ils deviennent les correspondants de la maison fraternelle, lui créant ainsi de nouveaux débouchés, tout en multipliant ses moyens d'action. C'est donc en partie à cette législation spéciale qu'il faut attribuer la puissance commerciale et industrielle de l'Angleterre et l'importance de ses relations avec ses colonies et avec l'étranger.

La France ne peut évidemment songer à faire un pareil retour en arrière, car si la liberté testamentaire a eu pour effet de contribuer à la création des puissants établissements commerciaux de l'Angleterre, l'abolition du droit d'aînesse en France a eu pour conséquence de répartir le capital national entre des mains plus nombreuses et, par suite, de concourir à la fondation de maisons de commerce qui n'auraient jamais vu le jour sous l'ancien régime. Toutefois, la puissance financière de nos voisins ne les rend que plus redoutables et, pour sortir triomphants de la lutte, nous devons donner à l'armée commerciale de la France une forte et solide préparation.

En résumé, on peut dire qu'à part l'Angleterre, où les connaissances commerciales sont acquises par une pratique de tous les instants et où elles font, en quelque sorte, partie de l'éducation de tous les citoyens, les diverses nations civilisées sont entrées

résolument dans la voie de la propagation de l'enseignement commercial à tous ses degrés.

L'Enseignement commercial en France. — Qu'avons-nous à mettre en parallèle avec les établissements d'enseignement commercial institués à l'étranger, avec les écoles d'Allemagne, d'Autriche, d'Italie et d'Amérique, où l'on rencontre une population de plusieurs milliers d'étudiants répartie dans des centaines d'écoles? Nous ne possédons qu'un enseignement bien limité, créé par l'initiative privée et de date relativement récente.

C'est cependant en France que fut créée, en 1820, la première école commerciale d'Europe, l'École supérieure de Commerce, fondée par Blanqui et rachetée en 1869 par la Chambre de commerce de Paris; depuis cette époque, qu'a-t-il été fait? Peu de chose. Nous possédons onze écoles commerciales, dont quatre écoles primaires et sept écoles secondaires ou supérieures de commerce. Ces onze établissements renferment au total une population scolaire de 1 680 élèves, répartie comme l'indique le tableau suivant :

ÉCOLES COMMERCIALES PRIMAIRES ET PRIMAIRES SUPÉRIEURES

	Date de la fondation.	Nombre d'élèves.	
École Commerciale, avenue Trudaine	1863	525	
École pratique de Comptabilité	1850	260	
Institut Commercial	1884	180	
École municipale de Reims (Section Commerciale)	1875	30	
		995	995 élèves

ÉCOLES SECONDAIRES ET SUPÉRIEURES DE COMMERCE

École supérieure de Commerce de Bordeaux	1875	112	
— — — du Havre	1874	40	
— — — de Lyon	1872	110	
— — — de Marseille	1872	125	
— — — de Paris	1820	130	
— — — de Rouen (Section Commerciale)	1872	18	
École des Hautes Études Commerciales	1881	150	
		685	685 élèves
			1 680 élèves

Après nos désastres de 1870-1871, il nous a été donné d'assister, en France, à un véritable réveil de l'industrie nationale ; le commerce français s'est employé à rechercher les moyens de réparer, par le travail, le trouble apporté par l'absence d'affaires au cours de nos revers; il chercha dans ce but à créer un personnel instruit

et capable de lui venir en aide dans la lutte commerciale qu'il lui fallait entreprendre contre l'étranger, qui mettait à profit nos désastres, et la nécessité où était l'industrie française de réédifier ses usines sur des ruines encore fumantes, pour envahir notre marché en l'inondant de ses produits. C'est à cet élan qu'il faut attribuer la création de six de nos écoles de commerce, fondées de 1871 à 1875, et c'est encore à la continuation de ce mouvement qu'est due la fondation de deux établissements d'enseignement commercial, créés en 1881 et 1884.

Avant la guerre de 1870-1871, la France ne possédait donc que trois écoles de commerce, et les huit nouveaux établissements n'ont été fondés que depuis cette époque (1). Il a ainsi été accompli, depuis 1871, un premier pas dans la voie de la propagation de l'enseignement commercial en France ; mais suffit-il d'écoles, préparant au total 1 680 élèves dans un pays où il entre tous les ans 400 000 employés dans le commerce et l'industrie ? Assurément non ! Cette population scolaire est nulle en regard de la place qu'occupe la classe marchande dans notre pays où elle représente 14 millions d'individus, soit 38 0/0 de la population totale de la France.

Il est vrai de dire que l'enseignement donné dans certaines écoles, notamment dans les écoles primaires supérieures de la Ville de Paris, telles que les écoles Turgot, Colbert, Lavoisier, Say et Arago, a contribué à préparer quelques enfants à la carrière commerciale, mais on ne peut assimiler ces écoles, où l'enseignement est surtout général, à de véritables écoles de commerce.

Il faut, pour être complet, ajouter que de nombreux cours commerciaux ont été fondés dans les grandes villes, pour donner, le soir, aux adultes les connaissances commerciales qui leur font défaut. Ces cours rendent de très sérieux services, en permettant aux employés des deux sexes d'acquérir les notions commerciales que réclame leur profession. A Paris, nous possédons de nombreux cours de ce genre, très suivis par les employés de commerce des deux sexes.

Le tableau ci-dessous permet de se rendre compte du développement qui a été donné à l'Enseignement professionnel du soir, dans la Capitale, et montre les remarqubles résultats obtenus.

(1) Il convient, pour ne rien omettre, de mentionner ici une école de fondation toute récente, l'École manufacturière d'Elbeuf, dont la section commerciale ne compte encore que 8 élèves.



	Hommes.	Femmes.	Mixtes.
	—	—	—
Cours de la Ville de Paris	688	671	
Association Polytechnique			3 445
Association Philotechnique	1 260	629	
Cours commerciaux du Grand-Orient.	634	316	
Société pour l'Instruction élémentaire.		157	
Cours de la Chambre de commerce (avenue Trudaine).	1 000	200	
Fondation Bamberger.	492		
Union nationale des Chambres syndicales.	480	235	
Société Commerciale pour l'étude des langues étrangères.	710		
Société académique de Comptabilité.			315
Chambre syndicale des Comptables. .	100		
	5 364	2 208	3 760

On voit par ce tableau, dont la plupart des chiffres sont empruntés à l'ouvrage de M. Léautey, *l'Enseignement commercial et les Écoles de Commerce en France et dans le monde entier*, qu'à Paris seulement, 11 332 adultes suivent les cours commerciaux professés dans la capitale, prenant sur leurs loisirs du soir pour donner à l'étude le temps que leur laisse leur labeur quotidien. Des cours analogues existent dans plusieurs grandes villes de France, et leur succès montre que les employés de commerce, en entrant dans les affaires, sentent bien vite l'insuffisance de leurs connaissances préparatoires et qu'ils cherchent à y suppléer en suivant, le soir, des cours où ils peuvent trouver à compléter l'instruction professionnelle qui leur manque.

Causes de la défaveur dans laquelle on laisse l'Enseignement commercial en France. — Il est donc démontré que notre enseignement commercial est insuffisant, tant au point de vue du nombre des établissements qui le donnent, qu'au point de vue des élèves qui le suivent ; il reste à rechercher les causes pour lesquelles cet enseignement n'est pas plus développé et le remède à apporter à cet état de choses.

Si le nombre des élèves fréquentant les écoles de commerce est très restreint, le reproche peut en être adressé à la fois aux parents et aux enfants ; les pères sont les premiers coupables, en dédaignant pour leurs enfants une carrière à laquelle ils doivent

le plus souvent la situation qu'ils occupent, en oubliant que leur profession leur a donné à la fois l'indépendance et la fortune.

En un mot, comme le disait M. Morel au Conseil supérieur de l'Instruction publique : « Les parents cherchent à faire de leurs enfants des fonctionnaires, quand tant de libres débouchés s'offrent à leur industrie et à leur intelligence. »

On ne peut aller cependant à l'encontre de l'ancienne prévention qui existe contre le commerce, prévention si ancienne qu'on pourrait sans doute la faire remonter à l'antiquité : la mythologie n'avait-elle pas donné, en effet, aux commerçants le même patron qu'aux voleurs, dans la personne de Mercure ? Cette prévention est injustifiable, si on considère que toute opération industrielle ou agricole a pour complément une opération commerciale, que c'est en un mot le commerce qui assure l'écoulement des produits obtenus par l'agriculture et par l'industrie et qu'à ce titre il est leur égal.

Les enfants, de leur côté, le jour où ils ont atteint l'âge de discernement, n'hésitent pas à préférer aux hasards d'une carrière qui réclame une grande initiative et dont les études n'ont pas de sanction, l'enseignement universitaire qui leur ouvre les portes des grandes administrations avec l'appât d'une carrière et d'une retraite assurées, qui leur donne également accès dans les professions libérales, et en outre la certitude d'être admis au volontariat d'un an, en leur évitant à la fois, plus tard, une grande perte de temps et les rigueurs du service militaire, cet effroi de tant de mères de famille.

Nous venons de voir quels sont les avantages qui déterminent les pères de famille à pousser leurs enfants dans la voie toute tracée de notre enseignement classique, ajoutons qu'autant cet enseignement est rationnel, autant il donne des connaissances propres à un bon recrutement des carrières libérales, autant aussi, il est peu apte à développer l'esprit positif chez l'enfant qui se voue aux affaires. Pour celui-ci, en effet, les connaissances générales doivent être données en vue de préparer un bon terrain pour recevoir l'enseignement commercial qui viendra plus tard, l'enseignement général doit en quelque sorte être préparatoire et l'enseignement commercial doit être l'enseignement fondamental. Actuellement, pour les jeunes gens qui se destinent au commerce et qui suivent l'enseignement universitaire, c'est exactement l'inverse qui a lieu, ils reçoivent un enseignement classique qui est la base de leur instruction et laissent de côté l'étude des connais-

sances commerciales, s'en remettant, dans la plupart des cas, à la pratique des affaires pour les acquérir. Telle est la cause d'un grand nombre d'insuccès, dus au défaut d'une bonne préparation commerciale pour les jeunes gens qui entrent dans le commerce. Ajoutons que l'absence de toute sanction officielle des études commerciales et d'avantages assurés à ceux qui ont suivi avec succès l'enseignement donné dans les Écoles de commerce augmente la défaveur où le pays laisse l'enseignement commercial; mais, sans aller aussi loin qu'en Belgique, où on a créé des diplômes officiels pour les jeunes gens sortant des Écoles de commerce, que l'on confère seulement aux diplômes, délivrés par les Écoles commerciales, les avantages qui sont attachés aux grades universitaires, et l'on verra alors une poussée irrésistible porter vers les études commerciales une grande partie de la jeunesse française, qui n'ose s'engager dans une voie, qui aboutit actuellement à une impasse !

Programmes d'Enseignement commercial. — On ne peut avoir la prétention, dans une aussi courte notice, de donner des programmes complets d'enseignement commercial, il faut se contenter de tracer les grandes lignes de cet enseignement, et nous allons, dans ce but, voir succinctement comment doit être organisé l'enseignement commercial pour qu'il réponde à ce qu'on est en droit d'attendre de lui.

Nous avons dit que l'enseignement commercial devait être donné à trois degrés différents et se subdiviser en primaire, secondaire et supérieur. Examinons maintenant quelles seront les connaissances qui devront rentrer dans ces trois divers degrés de l'enseignement commercial.

L'Enseignement commercial primaire est destiné à former des employés de commerce; il prendra les enfants à la sortie de l'école primaire, c'est-à-dire à l'âge de 13 ans environ et les conservera jusqu'à 15 ans; il devra être donné en deux années.

Cet enseignement doit être essentiellement pratique, car il s'adresse à des enfants appelés à entrer dans les affaires à leur sortie de l'école, et à qui il faut principalement apprendre tout ce qui les mettra en mesure de rendre immédiatement des services dans les maisons où ils entreront. Or, dans ces maisons que leur demandera-t-on ? De faire des factures, dresser des bordereaux de livraison ou d'expédition, de tenir le livre d'entrée et de sortie des effets de commerce, de savoir établir un compte courant, d'avoir

une belle écriture, chose trop négligée, d'être exercés au calcul mental, de faire des reports au grand livre, d'écrire une lettre sous la dictée, de rédiger un accusé de réception ou un avis d'expédition; telles sont les connaissances élémentaires que devra avoir le petit employé de commerce et qui le feront apprécier par ses chefs, dès son entrée dans les affaires. Enfin, il sera nécessaire de commencer à enseigner aux élèves une langue étrangère, dans ce premier degré de l'enseignement commercial; cette langue ne pourra pas être apprise en deux années, bien certainement, mais il restera cependant quelque chose de son étude, qui pourra être utilisée plus tard dans les affaires et qui sera perfectionnée par les enfants qui passeront dans les cours d'enseignement secondaire commercial.

On devra en outre donner, à ce premier degré de l'enseignement, des notions élémentaires de droit usuel commercial, car le commerçant n'apprendra jamais trop tôt à connaître les règles et les devoirs de sa profession.

On devra également mettre sous les yeux de l'enfant les principales marchandises, car il est à un âge où l'œil est observateur, où l'intelligence est avide de renseignements et où l'esprit aime à se rendre compte, et ce que l'enfant verra jeune se gravera mieux dans sa mémoire; enfin si on prend soin de lui donner à manipuler les marchandises qui constituent le commerce dominant de la région, il aura de grandes chances, un jour, d'utiliser les connaissances qu'il aura acquises à l'école.

Il sera, en outre, bon de lui faire exécuter un peu de dessin d'ornement au levé, art qui lui permettra, tout en formant son goût, d'apprendre à copier les beaux modèles qu'il aura sous les yeux plus tard, et peut-être d'arriver à en composer d'analogues. Tout cet ensemble de connaissances pratiques peut être donné à l'enfant, de 12 à 15 ans, et le mettra en mesure de trouver un emploi en sortant de l'école.

Enseignement secondaire commercial. — L'enfant qui voudra pousser plus loin ses études commerciales pourra passer dans les cours d'enseignement secondaire commercial, qui le conserveront trois ans encore, de 15 à 17 ans; mais ce sont principalement les Lycées et Collèges qui devront fournir au second degré de l'enseignement commercial son plus fort contingent d'élèves, car les enfants, qui sortiront de l'enseignement secondaire spécial, devront à ce moment quitter le lycée pour suivre les cours d'enseignement secondaire commercial.

Cet enseignement, appelé à former des patrons, doit être d'un ordre relativement élevé, et étudier, tout à la fois, le mécanisme pratique et la théorie des opérations commerciales. Il faut, en effet, qu'un patron sache entrer dans le détail de ses affaires, pour les contrôler, et puisse aussi s'élever au-dessus de considérations de boutique, pour embrasser des opérations liées ensemble.

Nous avons vu que l'enseignement primaire commercial doit être, avant tout, pratique, l'enseignement secondaire doit être à la fois théorique et pratique.

Trois années d'études sont à peine suffisantes pour acquérir l'ensemble des connaissances que réclame cet enseignement.

Comme l'enseignement primaire, l'enseignement secondaire commercial doit être basé sur le but à obtenir : qui est de former de bons chefs de maison; les principales qualités à attendre de celui-ci sont de savoir acheter et de savoir vendre. Il faut donc que le futur négociant apprenne à connaître très complètement les matières premières et les produits fabriqués, qu'il sache établir très exactement ses prix de revient dont découleront ses prix de vente; pour cela, il devra posséder parfaitement le mécanisme de la comptabilité, sans laquelle il n'y a pas de prix de revient sérieux; pour bien vendre: il devra parler la langue de ses acheteurs, et, l'étude de deux langues étrangères, au moins, lui sera indispensable; il devra être renseigné sur les usages des places et marchés sur lesquels il aura à opérer; savoir calculer rapidement ses prix d'achat ou de vente sur des marchandises, prises en poids mesures et monnaies de l'étranger; connaître l'organisation du crédit, ses lois et celles du commerce, faire une étude des principaux centres d'approvisionnement et de consommation, savoir ce qui s'y trouve et ce qui s'y demande, apprendre les soins à donner aux marchandises en magasin, pour assurer leur conservation, étudier les conditions du transport, les appareils de manutention économique, le mouvement du commerce extérieur, les droits de douanes, etc.

Ces matières devront être enseignées pratiquement : on fera passer de vraies écritures sur des livres, en empruntant ces écritures à des livres d'anciens commerçants, on aura un musée commercial, un médaillier, une bibliothèque technique française et étrangère; la présence de journaux illustrés étrangers, dans les bibliothèques, provoque le goût de la lecture et initie, presque inconsciemment, les élèves à la lecture des langues étrangères, en

même temps qu'elle contribue à leur enseigner les mœurs des pays dont ils apprennent la langue.

Il faut ajouter que l'étude des langues étrangères remplace celle des langues mortes pour les jeunes gens qui n'ont pas suivi l'enseignement classique; les exercices auxquels l'élève se livre pour rendre sa pensée sont l'occasion de comparaisons fécondes entre le génie des langues.

La présence d'élèves étrangers dans les écoles, tout en aidant à apprendre les langues, contribuera à créer aux anciens élèves des relations commerciales au delà des frontières.

C'est à ce degré de ses études, que le futur négociant pourra profiter utilement des enseignements du passé, en apprenant l'histoire économique de son pays et la géographie commerciale, d'où découlent des rapprochements précieux, dont l'expérience ne doit pas être perdue.

L'économie politique et le droit usuel lui feront voir comment on allie la théorie et la pratique, le dessin formera son goût, les sciences exactes appliquées, son jugement.

L'élève devra être exercé à reconnaître les qualités et les défauts des marchandises, à première vue : à l'œil, au goût et à l'odorat, et arriver à connaître les procédés rapides de laboratoire; il ne faut pas, si ce n'est pour traiter sur échantillons, qu'au moment de conclure une affaire, il demande le temps de passer dans son laboratoire, mais il est des méthodes simples, rapides et commodes, qui peuvent être utilement enseignées au futur commerçant.

Un pareil programme d'enseignement secondaire commercial pourra, croyons-nous, former des commerçants instruits, expérimentés et bien armés pour la lutte.

Enseignement commercial supérieur. — L'enseignement commercial supérieur a pour mission de former l'élite de la carrière. Comme tout autre enseignement, il ne peut avoir la prétention de préparer, du premier coup, des maîtres, mais il devra donner les connaissances nécessaires pour s'élever aux plus hauts degrés de la carrière.

Les écoles militaires forment des officiers, elles ne forment pas des généraux, c'est la vie des camps qui instruit ces derniers et qui leur permet d'allier à la pratique les connaissances théoriques reçues à l'école; de même, à l'école supérieure de commerce, on

devra acquérir toutes les notions théoriques propres à féconder la pratique commerciale

Mais pour que l'enseignement commercial supérieur soit profitable, il faut entrer à l'école bien préparé; pour cela, il conviendrait de n'y recevoir que les jeunes gens sortant des établissements d'enseignement secondaire commercial et il faudrait que les jeunes gens, ayant terminé leurs études dans les lycées, acceptassent de faire un stage d'un an dans une classe préparatoire, qui serait placée comme un trait d'union entre l'enseignement classique et l'enseignement commercial supérieur.

L'enseignement commercial supérieur est déjà donné dans plusieurs établissements, tant en France qu'à l'étranger, notamment à Paris, Anvers, Venise, etc. C'est lui qui doit former les représentants commerciaux à l'étranger de la métropole, les chefs des grands établissements commerciaux, et préparer, enfin, le personnel enseignant des écoles de commerce. Les professeurs des cours d'enseignement commercial ne devraient être nommés qu'après un stage dans d'importantes maisons et même un séjour dans des maisons étrangères, séjour qu'ils pourraient effectuer, grâce aux bourses qui sont mises au concours, chaque année, par le ministère du Commerce et des Colonies. Par cet enseignement supérieur, on préparerait un corps enseignant et un corps consulaire dont la situation ne serait pas soumise aux fluctuations de la politique et qui aurait une solide instruction.

Les cours d'enseignement supérieur commercial doivent être le couronnement des études commerciales; les matières qui y seront enseignées devront donc être traitées d'une façon plus complète et plus étendue qu'elles ne peuvent l'être dans les cours d'enseignement secondaire.

Le cours de mathématiques appliquées au commerce ne se bornera plus à enseigner les règles d'intérêt, d'escompte et de banque, mais il devra donner les solutions des problèmes relatifs à la Bourse, aux systèmes monétaires, aux métaux précieux, au change, aux probabilités, à l'assurance, aux fonds d'État, aux emprunts, etc., etc.

La comptabilité ne s'appliquera pas seulement à des opérations faites sur de vraies marchandises, mais à côté de cet enseignement pratique, on fera un cours de comptabilité comparée, dans lequel on étudiera, à la fois, les méthodes les plus sûres et les plus promptes, et où on comparera les résultats fournis par la comptabilité publique et la comptabilité privée.

En ce qui concerne les marchandises, on ne se contentera pas d'apprendre les qualités à exiger des matières premières et celles à rencontrer dans les produits fabriqués, mais on devra enseigner sommairement la fabrication de ces derniers, car on montrera ainsi, à la fois, l'influence qu'exerce, sur la production,les défauts des matières premières employées et les imperfections que ces défauts entraînent dans les produits élaborés, vices qui sont autant d'obstacles à la vente ; c'est ainsi que, pour chaque cours, l'enseignement devra s'élargir de façon à en dégager, en quelque sorte, la philosophie.

L'étude des langues devra être perfectionnée et les élèves devront posséder l'usage de deux langues à la sortie de l'école; ce qui sera aisé, si on considère que l'étude en aura été commencée dès l'enseignement primaire commercial, soit sept ou huit ans auparavant.

Il serait évidemment à désirer que l'élève, sortant de l'École supérieure de commerce, possédât la connaissance de quatre langues, deux langues du Nord et deux langues du Midi, mais l'expérience a démontré qu'il ne faut pas lui en demander autant, si on veut qu'il parle couramment les langues étrangères qui lui sont enseignées.

Des cours facultatifs d'Arabe et de langues parlées dans les colonies seront utilement professés dans ces écoles.

Les cours de l'École supérieure pourront être accessibles aux personnes qui demanderont à se faire inscrire à certains cours ; ils seront suivis avec fruit par les négociants qui voudront acquérir ainsi des connaissances qu'ils ne possèdent pas.

Il est inutile d'entrer dans la composition d'un programme complet d'enseignement commercial. Les exemples qui viennent d'être pris, parmi quelques-unes des matières de cet enseignement, montrent l'esprit de la méthode à employer, pour arriver à constituer un ensemble sérieux et apte à rendre les services qu'on attend de lui.

Mais, dira-t-on, l'enseignement commercial à ses trois degrés sera fort coûteux à établir et représentera une charge énorme pour le budget.

Le rôle que nous nous sommes assigné n'est pas de chiffrer les dépenses qu'entraînerait l'organisation de l'enseignement commercial, suivant les bases que nous venons d'exposer ; nous avons seulement cru devoir en tracer les grandes lignes, et nous pensons que sa mise en pratique fera entrer dans le pays plus d'argent que

n'en représente la dépense nécessitée par son établissement et par son entretien, car, inévitablement, le commerçant bien préparé a les plus grandes chances de succès, et celui qui fait fortune enrichit, en même temps que lui, le pays tout entier. D'ailleurs, le budget de l'instruction publique en France est aujourd'hui généreusement doté; il n'y a plus qu'à répartir convenablement les sommes qui y sont inscrites entre l'enseignement classique et l'enseignement technique.

Les Chambres de commerce pourront, comme elles l'ont déjà fait, contribuer à propager l'enseignement commercial, dont elles ont compris toute l'utilité ; on est en droit de demander la même coopération aux grandes villes de France qui, en raison de leur intervention financière, pourront déléguer, dans le sein du Conseil d'administration des Écoles de commerce, des membres dont l'influence aura pour effet d'orienter l'enseignement de l'École regionale vers les besoins ou aspirations du centre industriel et commercial où l'établissement aura été créé. Par des cours supplémentaires, appropriés aux industries dominantes de la région, on pourra modifier quelque peu l'enseignement donné dans les écoles de commerce et principalement dans celles d'enseignement secondaire ou supérieur; on arrivera ainsi à mettre l'enseignement commercial en harmonie avec les besoins de la région, mais dans aucune circonstance les cours supplémentaires ne devront être substitués aux cours fondamentaux, qui sont la base même de l'enseignement commercial. C'est ainsi qu'on pourra arriver à créer, dans les grands centres, des cours spéciaux d'enseignement commercial pour les femmes, qui occupent une place si importante dans certaines maisons de commerce.

L'État, enfin, peut exercer une heureuse influence sur le développement de l'enseignement commercial, en instituant des bourses de voyage ou de séjour à l'étranger, en donnant des subventions aux écoles, des bourses d'études, des diplômes, en facilitant l'entrée dans les carrières consulaires et l'accès de certaines fonctions administratives aux diplômés de l'enseignement commercial.

L'État a, d'ailleurs, compris qu'il devait venir en aide à la jeunesse qui fréquente les écoles de commerce, et il a rendu deux récents décrets qui contribueront puissamment à rehausser les études commerciales: le décret du 24 juin 1886, qui admet dans les consulats, en qualité d'élèves chanceliers, les anciens élèves diplômés de l'École des Hautes Études Commerciales, et le décret du 23 août 1888, qui leur permet de prendre part aux concours

des carrières diplomatiques et consulaires; c'est en lui donnant ainsi son patronage et son appui que l'État fera tomber l'ancienne prévention qui existe contre l'enseignement commercial; il provoquera de la sorte un mouvement d'opinion en sa faveur, qui aura pour effet d'attirer la jeunesse française dans les écoles de commerce, et la prospérité qui en résultera pour elles se répercutera sur le pays tout entier.

L'ENSEIGNEMENT PRIMAIRE INDUSTRIEL

DANS LES ÉCOLES PUBLIQUES

PAR

M. Georges SALOMON

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES

Un ensemble de causes complexes dont l'énumération n'est plus à faire, a suscité l'état de décadence de l'apprentissage sur lequel gémissent, depuis longtemps déjà, tous ceux qui s'occupent des choses de l'industrie. Dans la plupart des grands centres industriels, à Paris notamment, au bout d'une ou, au maximum, deux années, alors qu'il en faudrait trois ou quatre, l'apprenti veut passer ouvrier. Pour conquérir aussi rapidement ses grades, il se cantonne dans une étroite spécialité, forgeant ainsi, lui-même, les fers qui le rivent à jamais à la grande industrie qu'il maudit. *Gagner vite* est la suprême préoccupation contre laquelle rien ne peut prévaloir. Faute d'avoir compté avec elle, les médecins consultants qui ont tenté de guérir le mal d'apprentissage par l'enseignement professionnel ont piteusement échoué. Le remède était bon, l'emploi seul en a été défectueux.

L'enseignement technique capable de suppléer totalement à l'apprentissage à l'atelier ne peut réagir contre un mal qui gangrène l'industrie tout entière. Les écoles d'apprentissage proprement dites ne formeront jamais qu'un nombre très étroit de privilégiés.

Ces écoles, de même que celles qui sont seulement destinées « à développer l'aptitude professionnelle », à réduire la durée de l'apprentissage, telles, par exemple, les écoles manuelles d'apprentissage, les écoles primaires supérieures et complémentaires, déjà accessibles à un plus grand nombre d'élèves, périclitent pour la cause essentielle qui a entraîné la décadence de l'apprentissage dans l'industrie : elles imposent, les unes et les autres, une durée d'études par trop longue.

Servi à petites doses, d'une façon rationnelle, dans des écoles ouvertes à la masse de la population ouvrière, où la présence plusieurs années durant est obligatoire, en vertu d'une loi suffisamment subie ou acceptée, l'enseignement technique industriel produirait son plein effet. La solution de la grave question de l'apprentissage réside tout entière dans l'organisation de cet enseignement à l'école primaire élémentaire. Nous tenterons de l'établir.

I

L'enseignement technique industriel comporte trois degrés :

1° L'enseignement supérieur destiné à former les ingénieurs, les directeurs, les chefs d'industrie; il est donné dans nos grandes Écoles techniques, telles que les Écoles des Mines, des Ponts et Chaussées, Centrale des Arts et Manufactures, etc., etc. ;

2° L'enseignement moyen des Écoles d'Arts et Métiers destiné à former des contremaîtres;

3° L'enseignement primaire destiné à suppléer totalement ou partiellement à l'apprentissage des ouvriers à l'atelier.

L'enseignement industriel primaire est donné dans des écoles privées, à l'ordinaire spéciales à certaines industries, et dans les écoles publiques. Sont publiques, aux termes de l'article 2 de la loi du 30 octobre 1886, sur l'organisation de l'enseignement primaire, les écoles primaires fondées et entretenues par l'État, les départements et les communes, telles sont les écoles d'apprentissage, manuelles d'apprentissage, primaires supérieures, complémentaires et primaires élémentaires.

Les écoles d'apprentissage ont pour objet d'enseigner, d'une façon complète, des métiers déterminés, « de former des ouvriers habiles ».

Les écoles dites manuelles d'apprentissage jouent un bien moindre rôle. D'après la loi du 11 décembre 1880, ces écoles ont pour objet de « développer chez les jeunes gens qui se destinent aux professions manuelles la dextérité nécessaire et les connaissances techniques ». En d'autres termes, elles ont pour objet de « développer l'aptitude professionnelle et de compléter, à un point de vue spécial, l'enseignement de l'école primaire élémentaire » (1).

Tel est aussi le but des *écoles d'enseignement primaire supérieur* et

(1) Art. 55 du décret du 18 janvier 1887, ayant pour objet l'exécution de la loi du 30 décembre 1886, sur l'organisation de l'enseignement primaire.



des *cours complémentaires*, comprenant des classes d'enseignement professionnel préparatoire à l'industrie.

Dans les écoles manuelles d'apprentissage et les écoles primaires supérieures, la durée des études doit être de *trois années*, au *minimum;* à titre exceptionnel et, temporairement, dans les écoles supérieures existantes, elle peut rester limitée à *deux années*, au *minimum*. Au contraire, dans les cours complémentaires, la durée des études est fixée à *deux années*, au *maximum*.

On peut, dès lors, distinguer plusieurs degrés dans l'enseignement primaire industriel.

A la base se place l'enseignement industriel par trop rudimentaire de l'école primaire élémentaire, puis celui des cours complémentaires et des écoles supérieures, où la durée des études est de *deux années*, et, au sommet, dans l'ordre des programmes, celui des écoles supérieures et d'apprentissage à *trois années* d'études, au *minimum*.

II

On a tellement grossi l'action des écoles d'apprentissage qu'il nous paraît indispensable, si oiseux que cela puisse sembler à un public compétent, de ramener les choses au point.

Dans ce but, nous nous bornerons à citer des faits :

Il existe, à Paris, grâce aux libéralités du Conseil municipal, diverses écoles d'apprentissage types; entre autres, l'école Diderot, boulevard de la Villette, fondée en 1873 et destinée à former des ouvriers habiles aux travaux des métaux et du bois; l'école professionnelle pour l'industrie de l'ameublement et du bronze de la rue de Reuilly, dite école Boulle, fondée en 1886, et cinq écoles professionnelles de filles. Signalons encore l'école du Livre, école Estienne, ouverte d'hier, mais ne classons pas, parmi les établissements d'enseignement primaire, l'école de physique et de chimie industrielles. Parmi ces écoles d'apprentissage, l'école Diderot, ouverte depuis plus de seize années, pourra nous édifier. La durée des études y est fixée à *trois années*. Chaque année, il y entre environ cent élèves de treize à seize ans, à la suite d'examens portant particulièrement sur l'arithmétique et comprenant l'exécution d'un croquis à main levée et coté. Pendant la première année, les élèves passent alternativement par les ateliers du fer et du bois; dès la seconde année, ils se spécialisent. La journée comprend six heures d'atelier, pour les deux premières années, huit heures pour

la troisième et quelques heures d'enseignement classique. Sous la direction d'excellents professeurs, l'école Diderot forme d'excellents élèves, mais elle n'en forme qu'un nombre fort insuffisant par rapport à l'effort exercé. Ainsi, depuis sa fondation, elle n'est pas parvenue à retenir jusqu'à la fin de la troisième année le tiers des élèves qui y sont entrés ; la plupart d'entre eux s'en vont dès la fin de la première année. La Municipalité a vainement tenté de réagir en accordant, outre l'instruction gratuite, nombre de bourses d'entretien (déjeuner et vêtements) et en distribuant sous forme de prix ou de primes des allocations en espèces.

De même, à l'école Boulle, où la durée des études est de quatre années, et dans les écoles professionnelles de filles, une forte proportion des élèves restent rebelles à toutes les séductions et quittent l'école dès la fin de la première année. Ce n'est pas la nécessité qui les y pousse, puisqu'on pourvoit presque intégralement à leurs besoins et qu'ils sont incapables, à l'atelier comme à l'école, de participer aux charges de la famille ; c'est uniquement la soif d'indépendance, le désir de s'adonner librement aux plaisirs qui les sollicitent. Les mêmes causes produisent les mêmes effets à l'école et à l'atelier.

D'ailleurs, à supposer que l'école parvienne à conserver, pendant les trois ou quatre années indispensables à l'apprentissage, la moitié, ou même la totalité des élèves qui y entrent, on ne pourrait jamais, faute de ressources, élever un nombre d'écoles d'apprentissage permettant de fournir une portion appréciable des ouvriers nécessaires à l'industrie. Ainsi, sur le budget de la Ville de Paris pour 1887, l'école Diderot, capable de contenir près de 300 élèves, figurait pour 142 920 *f*, l'école Boulle, capable de recevoir, chaque année, 60 élèves, 92 300 *f*, et les cinq écoles professionnelles de filles, possédant 825 élèves, pour environ 400 000 *f*. Admettons que toutes ces écoles réunies parviennent à former, annuellement, 500 ouvriers, ce qui est exagéré, à juger par les résultats actuels ; additionnons les sommes ci-dessus, ajoutons-y l'intérêt de celles qui ont été consacrées à la construction et à l'aménagement de vastes bâtiments, l'amortissement du matériel, etc., et nous obtiendrons, par ouvrier formé, un prix de revient tellement fantastique qu'on ne songera plus à suppléer à l'atelier par l'école.

On ne peut même pas dire que les écoles d'apprentissage de la Ville forment des ouvriers. Leurs élèves reçoivent une instruction professionnelle d'un niveau assez élevé pour être aptes, peu après leur entrée dans l'industrie, à passer contremaîtres. Quelques-uns

des anciens élèves de l'école Diderot sont aujourd'hui ingénieurs ou directeurs d'usines. Par une tendance assez générale dans notre pays, chaque école dépasse le but qui lui est assigné. De même que les écoles d'arts et métiers, destinées à former des contremaîtres, fournissent fréquemment des Ingénieurs, les écoles destinées à former des ouvriers sont d'excellentes pépinières de contremaîtres instruits. A ce titre seul, nous considérons comme un devoir d'en proclamer la haute utilité.

III

Puisque l'école est impuissante à suppléer totalement à l'apprentissage à l'atelier, elle doit chercher à y suppléer partiellement, à abréger la durée de l'apprentissage à l'atelier. C'est ce qu'a compris le législateur lorsqu'il a établi les écoles manuelles d'apprentissage et qu'il leur a assimilé les écoles d'enseignement primaire supérieur ou complémentaire, comprenant des classes d'enseignement professionnel ; mais, en fixant à deux ou trois années *au minimum* la durée des études dans ces écoles, il a introduit dans son œuvre les ferments qui ont amené la dissolution de l'apprentissage. On a poussé la démence, nous nous permettons ce grand mot, jusqu'à prévoir, pour de telles écoles, la nécessité d'une quatrième année d'études (1). Jamais l'enfant n'accordera à des écoles destinées à émousser, seulement, ses aptitudes professionnelles, le temps qu'il n'accorde ni à l'atelier, même avec de légères rétributions, ni à des écoles d'apprentissage ultra-gratuites, telles que celles de la Ville de Paris.

Il consent encore assez souvent à subir, avec l'assentiment des parents, une année de cours complémentaire, alors qu'il a obtenu le certificat d'instruction primaire, pour qu'on puisse lui demander de compléter pendant une année son instruction primaire, mais il ne faut pas lui demander davantage

IV

A défaut des écoles soumises au régime de la loi de 1880, force est bien de se rejeter sur l'école primaire élémentaire, de profiter

(1) Décret du 28 juillet 1888, déterminant les programmes des écoles placées sous le régime de la loi du 11 décembre 1880 (art. 8).

du séjour forcé qu'y fait l'enfant pour l'initier à l'apprentissage. L'école primaire ouverte à tous permet, seule, d'agir sur les simples soldats, de préparer les gros bataillons de l'armée industrielle. Tous les efforts doivent donc tendre à y organiser d'une façon rationnelle l'enseignement technique industrielle. Il n'est pas question de former, mais bien de préparer les apprentis. Il faut, dès lors, malaxer les cerveaux, de façon à faire apprécier à l'enfant les avantages de l'industrie, à l'arracher aux fascinations qu'exerce, sur quiconque porte la blouse, le rond de cuir de l'employé, et, le croirait-on, si les statistiques ne l'établissaient triomphalement, la livrée du domestique. Il faut, par des exercices physiques appropriés, former des hommes qui ne redoutent pas les rudes labeurs. Se souvenant que l'apprentissage périclite essentiellement par suite de sa durée, il faut mettre à la place d'honneur, dans les programmes, l'enseignement des connaissances générales qui sont capables de l'abréger : montrer les principales matières premières des industries de la région, donner des clartés sur leur élaboration, faire connaître, manier et réparer les outils usuels. De cette façon, quand il entrera à l'atelier, l'enfant, moins dépaysé, pourra aussitôt étreindre étroitement les travaux de sa profession.

A la suite des chaleureux plaidoyers de MM. Corbon, Jules Simon et Tolain, la loi du 28 mars 1882 a rendu l'enseignement manuel obligatoire à l'école primaire. Le législateur a ainsi reconnu qu'on ne saurait, assez tôt, inspirer le goût du travail manuel, et qu'il était utile, quelle que soit la carrière que suive l'enfant, de délier ses doigts, de fortifier ses muscles et de lui apprendre à manier les outils usuels ; mais, ici encore, il a mal traduit sa pensée ou, du moins, sa pensée a été mal traduite.

Nulle part mieux qu'à Paris, on ne peut s'en rendre compte. Sur 174 écoles primaires communales de garçons qui y existent actuellement, 94 sont pourvues d'ateliers pour le travail du bois, et 7 possèdent, en outre, un atelier pour le travail du fer.

Dans ces ateliers, l'enfant n'apprend ni à manier l'outil ni à l'aimer manier, faute d'une bonne direction, de bons outils et d'une durée suffisante de travail.

Au lieu de traverser à la hâte un atelier-joujou dans lequel il ne séjourne même pas le peu de temps inscrit dans les règlements, il devrait, pendant les cinq à six années d'école primaire, selon le cours, effectuer chaque semaine, dans un atelier convenablement outillé et dirigé, 4, 8 ou 12 heures d'un travail du bois et du fer se rapprochant davantage du travail pratique. Un léger surcroit de

dépenses permettrait de tirer un effet utile des sommes importantes qui sont actuellement consacrées, avec un bien mince profit, à l'enseignement manuel. D'autre part, à l'école primaire élémentaire, puis, ensuite, pendant *une année, mais une année seulement*, au cours complémentaire, l'enfant devrait se consacrer, sérieusement, au modelage, au dessin linéaire et au croquis à main levée. Dans le cours complémentaire, il suivrait, selon qu'il se destine au commerce ou à l'industrie, des cours de comptabilité ou de technologie.

Pour trouver le temps nécessaire à cet enseignement technique, dont le travail manuel est le noyau, il suffirait d'augmenter d'une heure, au plus, les jours ordinaires, et de quelques heures, le jeudi, le nombre des heures de présence à l'école prescrit par les règlements de la ville de Paris. Et même, en effectuant de légères coupes au travers d'un enseignement classique dont on a justement critiqué la surcharge, en accordant à la technologie, pour ne citer qu'un exemple, les heures consacrées à l'enseignement civique et moral, on n'aurait pas à modifier le nombre des heures de travail.

Seule, parmi les écoles publiques de la capitale, l'école primaire communale de la rue Tournefort a organisé, à l'aide d'une légère subvention du Conseil municipal, un enseignement technique industriel capable d'abréger, légèrement, la durée de l'apprentissage. A ce titre, il conviendrait de réorganiser, non sans d'importantes variantes, les écoles primaires de nos centres industriels sur le modèle de cette modeste école (1). C'est se payer de mots, se berner de chimériques espérances, que de chercher, hors de l'école primaire élémentaire, le remède au mal d'apprentissage : nous l'avons suffisamment établi !

---

(1) V. *Le travail manuel à l'école de la rue Tournefort*, par MM. Laubier et Bougueret, Paris, 1887, et le compte rendu de notre conférence à la bibliothèque Forney : *L'Enseignement professionnel, industriel et commercial*, Paris, 1887.

NOTICE

SUR

LA MIRE CALCULANTE

Système H. JULLIN

Dans la plupart des travaux faisant partie du domaine de l'art de l'Ingénieur on doit avoir plus ou moins recours au nivellement.

Toute modification apportée dans les instruments ou appareils destinés à ce travail présente donc assez d'intérêt pour qu'il vous en soit donné communication, surtout lorsque cette modification a, comme résultat, de simplifier le travail.

C'est pour ce motif que je viens vous présenter une mire que je désignerai sous le nom de mire calculante, parce qu'elle supprime tous les calculs ordinaires du nivellement.

Vous savez combien ces calculs (ajouter le coup arrière, puis retrancher le coup avant) sont ennuyeux, surtout lorsque l'on est obligé, comme cela se présente le plus souvent en construction, de les faire sur le terrain même ; j'ajouterai que ce sont surtout de ces calculs que proviennent la plus grande partie des erreurs, soit que, par mégarde, on ajoute le coup arrière à une cote intermédiaire, au lieu de celle du point sur lequel se trouve la mire, soit que l'on intervertisse le sens de l'une ou l'autre des opérations ou même des deux.

L'emploi de la mire dont je viens vous entretenir évite toute erreur provenant de ce fait, puisqu'elle supprime tous ces calculs.

En quoi consiste le nivellement ?

A déterminer d'abord la différence de hauteur verticale existant entre un point dont la cote est connue et un point dont la cote est à déterminer, puis à ajouter ou à retrancher cette différence de la cote connue suivant que le second point est plus haut ou plus bas que le premier.

Si la mire, au lieu d'être divisée de bas en haut, comme le sont

toutes celles en usage actuellement, l'est de haut en bas, il est de toute évidence, que la cote lue sur la mire placée au point inconnu sera ***plus forte*** ou ***plus faible*** que celle lue sur le point connu de la ***différence de nivellement*** existant entre ces deux points et ***dans le sens même de la position de ces deux points*** l'un par rapport à l'autre : c'est-à-dire que cette différence ***s'ajoutera*** à la cote du point connu si le point inconnu est plus élevé et qu'au contraire elle ***se retranchera*** s'il est plus bas.

Un exemple fera mieux saisir ma pensée.

Je suppose que le rayon visuel passant par l'axe horizontal de la lunette du niveau, autrement dit que le plan de visée rencontre la mire placée sur le point connu à la division 5.74, si le point inconnu est, par exemple, **1,52** ***m*** plus bas et que la mire y soit placée, ce même rayon visuel rencontrera la mire **1,52** ***m*** plus haut c'est-à-dire à la division

$$5,74 - 1,52 = 4,22$$

puisque le numérotage est fait de haut en bas.

Le cas inverse se présenterait évidemment si le point inconnu était plus haut.

On voit donc que ces opérations se font d'elles-mêmes et ***dans leur véritable sens***, les points plus bas donnant, à la lecture sur la mire, les cotes plus faibles, comme l'est le terrain lui-même, et les points hauts les cotes plus fortes.

Admettons maintenant que la cote du point connu, ou du repère, sur lequel a été placée la mire en premier lieu, soit exactement **125,74**, c'est-à-dire la cote réellement lue sur la mire placée en ce point.

Quelle sera la cote du point cherché ?

Ce point, nous l'avons dit, est **1,52** ***m*** plus bas que le repère ; sa cote réelle sera donc

$$125,74 - 1,52 = 124,22$$

c'est-à-dire précisément, comme nous l'avons vu plus haut, celle lue directement sur la mire placée en ce point ; car il n'y a pas lieu de tenir compte dans ces opérations des dizaines et centaines de mètres, la différence entre deux points à niveler d'une même station ne pouvant dépasser **4** à **5** ***m***, suivant la hauteur de la mire.

Vous voyez qu'ainsi la cote réelle aura été lue directement sur la mire et par suite obtenue sans aucun calcul.

Il en sera de même pour tous les autres points qui pourraient être à lever de la même station.

Quel est donc, pour atteindre ce résultat, le problème qu'il reste à résoudre ?

Arriver par un moyen quelconque à pouvoir toujours lire sur la mire, à *la hauteur du rayon visuel,* la cote même du repère sur lequel elle se trouve placée.

La question ainsi réduite est bien simplifiée et vous en voyez tous la solution qui est celle-ci :

Remplacer la division faite sur le bâtis même de la mire par une division *sur une bande mobile sans fin* d'une longueur rigoureuse de dix *mètres*, que le porteur de mire peut manœuvrer à sa volonté dans un sens ou dans l'autre, suivant les indications qui lui sont données par l'opérateur.

Ce dernier peut ainsi faire arriver la cote même du repère où est placée la mire à la hauteur du rayon visuel.

La mire est, par ce fait, *réglée pour cette station*, et l'opérateur n'aura plus, pour toutes les autres cotes qu'il aura à prendre de cette même station, qu'à faire placer la mire sur chaque point, et il y *lira* DIRECTEMENT *les cotes de tous ces points*.

Voilà en quelques mots quel en est le principe ; il est, comme vous le voyez, de la plus grande simplicité.

Quant à sa construction proprement dite, elle ne présente pas des difficultés insurmontables, et tout constructeur habituel d'appareils analogues arrivera facilement à l'établir dans les meilleures conditions possibles et à des prix abordables, quoique, bien entendu, assez sensiblement supérieurs aux prix des mires actuellement en usage.

Elle peut être analogue, comme bâtis, aux mires ordinaires, sauf qu'il doit avoir 5 *m* au lieu de 4 *m*, la bande mobile sans fin ayant une longueur totale de 10 *m ;* il doit être en forme de coulisseau ou simplement avec rebords de chaque côté et sur chaque face pour encadrer la bande mobile et l'empêcher de dévier, être muni d'axes de rotation en haut et en bas pour en permettre la manœuvre et enfin avoir un appareil de pression pour la maintenir *rigoureusement* dans sa même position pendant toute la durée d'une opération, c'est-à-dire tant que le niveau n'est pas déplacé.

On peut, au besoin, comme je l'ai fait moi-même, y adapter un appareil d'entraînement à rouleaux, qui permet de mieux guider qu'à la main les petits mouvements de la bande mobile

Je n'entrerai pas dans la description de celle que j'ai construite moi-même, qui, comme tout appareil nouveau, est susceptible de modifications.

Elle n'a, du reste, de particulier que l'emploi du caoutchouc pour la bande mobile et l'appareil d'entraînement à trois rouleaux, garnis également de caoutchouc, qui sert en même temps d'appareil d'arrêt de la bande mobile.

Pour cela, la manivelle placée sur l'axe prolongé du rouleau compresseur est en deux parties réunies par une charnière et pouvant, par suite, se rabattre l'une sur l'autre ; la partie extrême est munie d'un arc denté dont les dents correspondent à celles d'une roue dentée *fixe* placée sur la boîte de manœuvre elle-même

En rabattant ces deux parties de la manivelle l'une sur l'autre, l'arc denté vient s'engrener avec la roue dentée fixe, et tout mouvement de la bande mobile se trouve ainsi arrêté d'une façon absolue.

Un ressort *ad hoc* maintient cette manivelle rabattue pendant toute la durée de l'opération.

Je terminerai par quelques considérations générales sur l'emploi de cette mire.

Je disais, au début de ma communication, qu'elle présentait sur celles actuellement en usage l'avantage de diminuer considérablement les causes d'erreur par le fait qu'elle supprime toutes celles provenant des calculs, ne laissant subsister, comme toutes les autres, que celles de lecture qui, celles-là, ne peuvent être évitées.

J'ajouterai qu'elle trouvera surtout son utilité dans les levers de profils en travers, où beaucoup de cotes sont prises en général dans une même opération, en partant du même repère ; elle abrégera le travail de tout le temps passé aux calculs.

Il en sera de même pour les relevés d'attachements des travaux en cours d'exécution.

Elle rendra également de grands services, pendant la construction, pour la détermination et la vérification des terrassements, l'emplantation des ouvrages d'art, bâtiments, etc., etc.

Enfin, elle a l'avantage d'être à la portée de toute personne sachant lire les chiffres, quand bien même cette personne ne saurait ni écrire, ni à plus forte raison calculer ; elle peut donc permettre à tout surveillant n'ayant aucune connaissance technique de vérifier le travail dont il a la surveillance sans qu'il ait besoin d'avoir recours à son conducteur.

Paris, le 5 avril 1889.

NOTICE

SUR LA

CONSTRUCTION DU VIADUC D'OISILLY

(COTE-D'OR)

PAR

M. JOSEPH ALLARD

La ligne d'Is-sur-Tille à Gray, inaugurée le 28 octobre dernier, traverse la vallée de la Vingeanne sur un viaduc en maçonnerie de 293,90 *m* de longueur.

Cet ouvrage, construit sous la direction de M. Celler, Ingénieur en chef de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, et de M. Zawiski, ingénieur à Langres, se compose de sept arches, de forme elliptique, de 37 *m* d'ouverture.

Le canal de la Marne à la Saône, de construction récente, passe sous l'une des arches; la rivière de la Vingeanne sous une autre.

Les naissances des voûtes sont établies à 1,10 *m* au-dessus du sol; la hauteur du demi-petit axe de chaque arche est de 14,50 *m*; l'épaisseur des voûtes est de 2,40 *m* au joint de rupture et de 1,30 *m* à la clef.

La hauteur totale de l'ouvrage, comprise entre le niveau de la prairie et le dessus des rails, est de 18 *m*.

Les fondations du viaduc ont été faites pour deux voies; mais toute la partie en élévation a été construite à une seule voie : les grandes voûtes ont 4,51 *m* de largeur.

Des pilastres avec contreforts, établis au droit de chaque pile ou culée, portent en ces points la largeur de l'ouvrage à 6,69 *m*; ils s'élèvent avec un léger fruit en tous sens, et correspondent à la partie supérieure aux niches de refuge ménagées de chaque côté de la voie.

La voie, dans chaque travée, est supportée par six petites voûtes en plein cintre, ayant 2,50 *m* d'ouverture, dont les piédroits reposent sur les reins des grandes voûtes; ces piédroits, de même que les pilastres, sont évidés dans le sens transversal.



Tout l'ouvrage est ainsi ajouré, ce qui lui donne beaucoup d'élégance et de légèreté.

Fondations.

Les fondations de cet ouvrage ont été établies sur le rocher à la mine ; elles ont de 3,50 *m* à 9 *m* de profondeur.

Elles ont été construites en maçonnerie de moellons ordinaires avec mortier de chaux hydraulique, et sont faites pour deux voies.

Les fouilles traversent des terrains argileux et tourbeux, des graviers, puis les marnes et calcaires marneux du Kimméridgien : elles n'ont pas offert de grandes difficultés, mais ont nécessité des épuisements considérables.

La plupart d'entre elles ont été faites à ciel ouvert et en talus ; mais lors de l'exécution de la fouille de la première pile, voisine du canal de la Marne à la Saône, un mouvement assez considérable s'est produit dans la digue malgré un batardeau de pieux et palplanches fait pour maintenir cette digue : celle-ci menaçait de se rompre et de combler la fouille en l'inondant.

Le mouvement a été enrayé à grand'peine ; aussi, pour se mettre à l'abri des éventualités qui pouvaient se produire lors de l'exécution des fouilles des deuxième et quatrième piles, voisines du canal et de la rivière, a-t-on exécuté à l'avance une enceinte complète de pieux et palplanches jointives, destinée à maintenir le terrain ébouleux sur 5 *m* de hauteur ; ces coffrages étaient étrésillonnés au fur et à mesure de l'approfondissement des fouilles qui ont été exécutées ainsi sans difficultés.

Vu l'étroitesse des fouilles et leur profondeur, les déblais ont été extraits à l'aide d'élévateurs, mus par des chevaux, enlevant des caisses de 0,5 m^3 qui étaient basculées directement dans les wagons transportant les terres au remblai.

Les fouilles ont été commencées au mois de juin 1886 ; avant la fin de la campagne toutes les fondations, comprenant 3 000 m^3 de maçonneries, étaient sorties de terre et les pilastres étaient suffisamment élevés pour permettre la pose des cintres qui a été faite pendant la mauvaise saison.

Cintres.

Les cintres, composés de quatre fermes, comprenaient une partie fixe s'arrêtant un peu au-dessous du joint de rupture, et une partie supérieure mobile.

Dans les arches correspondant au canal de la Marne à la Saône, et à la rivière de la Vingeanne, la partie fixe reposait sur des pilotis; dans les autres arches, en prairie, chaque cintre reposait, par l'intermédiaire de fortes semelles, sur des corbeaux placés dans les maçonneries au niveau du sol et sur trois fondations, formées de pierre cassée et de sable intimement mélangés, arrosés à grande eau et pilonnés, remplissant des fouilles blindées descendant dans le sol jusqu'aux couches imperméables.

Entre la partie fixe et la partie mobile se trouvaient les bâches de décintrement, au nombre de neuf par arche; chacune de ces bâches, remplie de sable et placée transversalement, recevait par l'intermédiaire de forts madriers en chêne une file de quatre poteaux.

Les divers assemblages de charpente étaient maintenus par de fortes équerres en fer fixées à l'aide de tire-fond.

Des cintres ont été exécutés pour cinq arches seulement; les deux dernières voûtes ont été construites en réemployant les deux premiers cintres.

Ponts de service.

Indépendamment d'un pont-levis en bois établi sur le canal et d'un pont provisoire construit sur la Vingeanne, tous deux installés au niveau du sol pour les besoins du service et le passage des matériaux, la construction du viaduc a nécessité l'établissement d'un pont de service sur toute la longueur de l'ouvrage.

Ce pont comprenait des palées de 4 *m* de largeur, espacées de 6 en 6 *m*; la moitié de ces palées étaient contreventées du côté opposé au viaduc par de grandes contrefiches aboutissant au niveau du troisième étage

Le pont comprenait quatre étages; le premier plancher était établi à 6 *m* au-dessus du sol, les autres à des distances uniformes de 3,50 *m*.

Les matériaux étaient élevés au moyen de quatre monte-charges distribués sur la longueur de l'ouvrage.

Ces élévateurs, très simples, étaient composés de deux tambours de diamètres différents montés sur le même arbre; un cheval suivant une piste rectiligne déroulait le câble du grand tambour, ce qui faisait enrouler sur l'autre tambour la chaîne soulevant la caisse ou le plateau sur lequel se trouvaient les matériaux.

Ceux-ci étaient reçus aux différents étages sur des trucs à la voie de 0,50 *m* et étaient distribués à la demande.

Un frein et un rochet d'arrêt complétaient tout le système qui m'a rendu de bons services.

Pendant l'exécution des travaux, je n'ai eu à déplorer aucun accident, malgré le nombre considérable d'ouvriers employés.

Matériaux.

Le viaduc a été entièrement construit en pierre dure provenant de la carrière que je possède et que j'exploite sur le canal de la Marne à la Saône, à Licey-sur-Vingeanne.

Cette carrière, que j'ai découverte en 1883, m'avait déjà fourni la pierre nécessaire à la construction de plusieurs ponts et écluses du deuxième lot du canal de la Marne à la Saône, dont j'avais l'entreprise.

Les essais faits à cette époque au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées placent cette pierre, comme dureté, à la suite de la pierre marbre de Souppes et déterminent qu'elle peut supporter dans les constructions une charge permanente de 86 *kg*.

Le devis du viaduc n'admettait que cette seule pierre de Licey pour la construction de l'ouvrage.

La carrière, très riche, a fourni tous les matériaux employés au viaduc et en particulier toute la plinthe de cet ouvrage, comprenant 600 *m* courants en blocs de 0,60 *m* d'épaisseur ayant de 1,10 *m* à 1,50 *m* de largeur ; de plus, elle a été employée dans un grand nombre d'ouvrages de la ligne.

Sa proximité du canal permet de charger les matériaux directement en bateau ; ils étaient ensuite descendus au viaduc situé à 10 *km* en aval et déchargés à l'emplacement même des travaux.

Une installation complète de voies les distribuait ensuite aux monte-charges.

Les mortiers employés étaient composés de chaux hydraulique du Teil, marque Pavin de Lafarge, et de sable de Saône.

Trois broyeurs à manège ont desservi tout l'ouvrage.

Mode de construction.

L'ouvrage a été construit en moellons de 0,20 *m* à 0,25 *m* d'épaisseur ; la pierre de taille a été employée seulement à l'intérieur des chambres de mine établies dans quatre piles, et pour les plinthes et niches de refuge du viaduc.

Les bandeaux des grandes voûtes ainsi que les parements des

pilastres et contreforts ont été formés de moellons parementés à bossages rustiques ; pour bien dessiner les lignes et assurer l'exactitude de la pose, on a, sur chaque angle, détaché les arêtes par des ciselures continues

Les douelles des grandes voûtes, en forme d'ellipses, ont été construites en moellons piqués entourés de ciselures et ayant une queue moyenne de 0,45 *m* de longueur ; les extrados, de forme elliptique, sont aussi parementés en moellons piqués dans toutes les parties à découvert.

Vu les grandes pressions auxquelles les maçonneries devaient résister (pressions qui s'élèvent aux naissances jusqu'à 28 *kg* par centimètre carré), toute la maçonnerie intérieure des voûtes a été faite avec un soin tout particulier ; chaque assise est composée de moellons équarris, de fortes dimensions, posés à joints incertains mais sans aucun garnissage.

Les parements des petits piliers et les bandeaux des petites voûtes sont en moellons piqués entourés de ciselures ; le reste de l'ouvrage est en moellon smillé.

Des chambres de mine, avec puits aboutissant sur la voie, ont été établies dans quatre des piles du viaduc.

Exécution des grandes voûtes.

Les cintres ayant été convenablement chargés, les trois premières voûtes ont été maçonnées simultanément.

A partir du point où les extrados se rencontrent, les voûtes ont été construites d'abord sur la moitié de leur épaisseur, afin d'éviter les cassures qui auraient pu se produire sur les reins par suite de la déformation des cintres.

Ce n'est qu'après le clavage de ces premiers rouleaux que l'on a procédé à la construction des deuxièmes rouleaux formant le complément des voûtes.

Cette reprise a été très délicate à faire : afin que les deux rouleaux de chaque voûte soient bien liaisonnés entre eux, il fallait que les vides des arrachements du premier rouleau, extradossé provisoirement en forme de roue d'engrenage, soient remplis très exactement avec des moellons de fortes dimensions et taillés à la demande; de plus, les parties où l'extrados était parementé venaient ajouter encore une grande sujétion.

Ce travail a été fait avec le plus grand soin, et les trois voûtes ont été clavées ensemble.

Les constatations faites sur les cintres avant et après leur chargement, ainsi qu'à la suite du clavage des voûtes, n'ont accusé des affaissements et des déformations que de quelques millimètres.

Les voûtes sont restées sur cintres pendant vingt jours à partir du clavage.

Pendant ce temps, on construisait les 4e et 5e arches.

Le décintrement des trois premières voûtes a été fait simultanément, en présence de M. l'Ingénieur en chef Celler, de M. l'Ingénieur du contrôle et de la plupart des Ingénieurs de la Compagnie de l'Est, venus spécialement pour assister à l'opération.

Les abaissements constatés aux clefs ont été de :

Un demi-millimètre pour la première voûte ;

Un millimètre et demi pour la deuxième voûte ;

Deux millimètres pour la troisième voûte.

Les abaissements aux reins étaient à peu près proportionnels à ces chiffres.

Aucune trace de déformation, aucune fissure n'a été relevée.

Ces résultats ont surpris agréablement tous les Ingénieurs qui assistaient au décintrement; ils les ont trouvés tout à fait exceptionnels et ont bien voulu les attribuer aux soins tout particuliers apportés dans la construction des voûtes; ils m'ont adressé de ce fait de nombreuses félicitations.

Les voûtes ont été surveillées plusieurs jours encore après le décintrement, sans que l'on ait pu constater d'affaissement appréciable.

Les cintres des deux premières voûtes ont été réemployés aux sixième et septième arches ; toutes les grandes voûtes ont été construites dans des conditions semblables aux premières et ont donné, au décintrement, les mêmes résultats.

L'affaissement le plus grand a été constaté à la septième voûte : il était de quatre millimètres.

Exécution des petites voûtes, des tympans et des chapes.

Les petites voûtes et les tympans de l'ouvrage ont été maçonnés au fur et à mesure du décintrement des grandes voûtes : leur exécution n'a rien eu de particulièrement intéressant.

Les extrados des petites voûtes ont été nivelés suivant des pentes régulières par un remplissage en béton maigre, puis on a procédé à l'exécution de la chape, composée d'une couche de neuf centi-

mètres en béton de menu gravier avec mortier de chaux hydraulique, recouverte d'un enduit de quinze millimètres en mortier de chaux hydraulique.

Après un séchage complet il a été appliqué sur la chape deux couches de goudron minéral, réduit par un chauffage prolongé ; ces couches de goudron sont destinées à empêcher les filtrations qui pourraient se produire dans les voûtes si, par suite des ébranlements causés par le passage des trains, quelques légers fendillements venaient à se produire dans les mortiers ou les bétons.

A ce jour, malgré le passage des trains de ballast, il n'existe aucun suintement, même de faible importance, à la douelle des voûtes.

Le vide entre les tympans a été rempli par des enrochements, après quoi il a été procédé au ballastage et à la pose de la voie.

Plinthes et garde-corps.

La plinthe du viaduc a 0,60 *m* d'épaisseur et 1,07 *m* de largeur, elle a une saillie moulurée de 0,44 *m* sur le nu des tympans ; cette saillie est maintenue à la rencontre des pilastres et contreforts et contourne leur relief.

A la partie supérieure de ces pilastres et contreforts sont ménagées, au niveau de la voie, des niches de refuges entourées de parapets en pierre de taille.

Entre ces parapets, et sur toute la longueur de l'ouvrage, règne un garde-corps en fonte de 1 *m* de hauteur.

Toute la partie du viaduc, en élévation, a été faite pendant la campagne de 1887 ; comme les fouilles ont été commencées au mois de juin 1886, l'ouvrage avec ses fondations a donc été exécuté en 18 mois.

Dès le mois de janvier 1888 des trains de déblais et de ballast passaient sur le viaduc, la ligne inaugurée le 28 octobre 1888 est maintenant en exploitation.

NOUVEAU RAIL GOLIATH

AVEC SEMELLE EN ACIER

PAR M. C.-P. SANDBERG

Un besoin urgent d'un nouveau rail Goliath (1) ne semblait pas à présent se faire sentir. Un premier type a été construit il y a seulement trois ans, et, par conséquent, nos expériences sur ce type de rail ont été, jusqu'à présent, relativement de peu de durée. Pendant cette période cependant, plusieurs faits importants, sur les formes des rails en général et qui affectent aussi le Goliath, ont été mis en lumière ; comme ce rail est coûteux, il est préférable qu'il soit de suite exécuté convenablement. Ces faits sont les suivants :

1° Le rail à gros champignon, par suite de la grande vitesse des laminoirs modernes, ne semble pas bien se comporter ; d'autant plus que, physiquement, la dureté n'existe qu'à la surface et non à l'intérieur de la tête du rail. Nous ne serons capables de faire des rails chimiquement durs avec 0,50 à 0,60 0/0 de carbone, comme le font les laminoirs américains, qu'après avoir adopté en Europe le procédé américain qui consiste à courber le rail pendant qu'il est chaud. De cette façon, on ne détruit pas la résistance du rail par l'emploi des presses à cintrer à froid, et par des éraflures sur le patin, qui sont des causes de rupture et d'accidents. De toute manière, il sera préférable d'augmenter la largeur du champignon plutôt que son épaisseur. La grande valeur de cette modification se prouvera, non seulement par la grande durée du rail, mais aussi par la plus grande durée du bandage, qui n'aurait pas besoin d'être tourné si le champignon du rail était aussi large, ou à peu près aussi large que la surface de contact. Cette disposition augmenterait aussi la puissance de traction de

(1) Voir les notes publiées par M. C.-P. Sandberg, Ingénieur civil, 19, Great George Street : Wetsminster ; Londres-*Rail joints and Steel Rails-1886-et-use of heavier Rails-1889-by the* Institution of civil Engineers.

la locomotive, en offrant une plus grande surface de rail à l'adhérence des roues motrices ; car la puissance de traction d'une locomotive sur un champignon de rail plus large serait plus grande que celle d'une locomotive de même poids sur un champignon plus étroit.

2° Un large champignon offrirait une meilleure portée pour le joint à éclisse, sans incliner les côtés du champignon, disposition adoptée sur une si grande échelle en Amérique, puis abandonnée en raison du frottement latéral du boudin.

3° L'effort de broyage (*crushing load*) des roues motrices n'excéderait pas, dans le champignon plus large, la limite d'élasticité de l'acier.

Ces faits semblent avoir une très grande importance et sont dignes d'attention. La section du nouveau rail Goliath de 1889 a, par conséquent, été dessinée avec un champignon de 76 *mm* de largeur au lieu de 67 *mm*, et de 45 *mm* d'épaisseur au lieu de 47,5 *mm*, donnant ainsi un champignon plus mince, et d'une plus large surface d'adhérence, procurant aussi une portée du champignon sur l'éclisse de 25 *mm* au lieu de 19 *mm*.

La distribution du poids dans le nouveau Goliath comparé à l'ancien est répartie comme il suit :

	1886	1889
Champignon	43,5	45,5
Tige.	23,9	22
Patin	32,6	32,5
	100	100

Quant au rayon de la table de roulement, au sujet duquel il a été tant discuté en Amérique, en vue de ne pas dépasser la limite d'élasticité, il a été fixé à 203 *mm* au lieu de 254 *mm* ; la forme est donc plutôt plus arrondie, pour cette raison que les bandages des anciennes lignes, où ce rail Goliath pourrait être utilisé ne sont certainement pas plats, mais usés plus ou moins en creux. Une augmentation de 10 *mm* ou 13 *mm* de la largeur de l'ancien champignon de rail ferait que, dans les courbes, le bandage serait amené à porter sur la partie extérieure, ce qui diminuerait la saillie effective du boudin du bandage d'une quantité équivalente à l'usure en creux, et augmenterait les chances de déraillement ; ceci d'autant plus que le champignon du rail serait plus plat et le bandage plus usé en creux. Par conséquent, le rayon de 203 *mm* pour la table de roulement, qui est aussi supposé être le rayon de

la partie du bandage existant, en contact avec le rail, offre plus de chance de sécurité en maintenant le bandage sur le rail, dans les cas où l'on appliquerait le rail Goliath de 76 *mm* de largeur à la place d'anciens rails de 63 *mm*. Comme ces nouveaux rails Goliath offriront une portée plus large au bangage, l'effet pratique sera le même que si le champignon était plat et plus étroit, pour ce qui est d'éviter de dépasser la limite d'élasticité ; d'autant plus que, par suite du laminage plus froid, la surface plus large est plus dure que dans le champignon épais et étroit. Le rayon de 6 *mm* pour les coins du champignon, qui est adopté en Amérique, ne serait pas applicable en Europe avant que le système de wagons à boggie y soit adopté (généralement) comme là-bas ; par conséquent, il faut conserver le rayon de 13 *mm*. Le côté vertical est maintenu, comme une moyenne entre le côté incliné en dedans, rail américain, et le côté incliné au dehors, rail russe et allemand. Le rayon du coin inférieur du champignon peut être aussi petit que le laminage le permet, soit 0,8 *mm*. La portée de 25 *mm* de l'éclisse sur le rail devrait être parfaitement droite, l'éclisse elle-même devrait être aussi droite que si elle était dressée à la machine. Ceci explique les modifications apportées au champignon.

Examinons maintenant la tige patin du rail. Le point faible de la voie, avec des rails à patin en général, comparés aux rails à double champignon montés sur coussinets, est la largeur insuffisante de la base et la manière imparfaite de les fixer sur les traverses en bois. Une largeur de patin de 140 *mm*, qui était la largeur adoptée dans le rail Goliath, type 1886, n'est pas suffisante sur des traverses en sapin à mailles larges, si on la compare à la largeur de 300 *mm* à 380 *mm* qu'offre le coussinet en fonte qui supporte le rail à double champignon. Il serait, par conséquent, meilleur d'abandonner le système consistant à faire reposer directement le rail sur la traverse, et d'adopter une semelle en acier de surface suffisante, ou de surface égale à celle du coussinet en fonte, d'environ 0,062 m^2, soit 304 *mm* $\times$ 203 *mm* et de 13 *mm* d'épaisseur, afin de ne pas plier et de la fixer à la traverse par trois boulons, vis à bois, ou tire-fond, ou crampons en se servant de crampons et de clés en acier pour fixer le rail à la semelle (Pl. 213, fig. 3 et 4).

Cette disposition permet de faire le rail en acier plus dur, et procure un moyen de fixer d'une façon plus solide le rail à la traverse ; de plus, il suffit de chasser les clés en acier pour changer rapidement le rail ou la traverse, si l'un ou l'autre devient mauvais. La méthode insuffisante de fixer le rail à patin directement sur la tra-

verse au moyen de tire-fond serait ainsi supprimée, et une durée plus longue serait assurée à la traverse. Il y a lieu de remarquer que le patin du rail porte des deux côtés sur toute la largeur de la semelle, soit 203 *mm*, tandis que dans l'ancienne méthode il portait sur un tire-fond d'environ 16 *mm* ; et que l'élargissement de la voie dans les courbes pourrait être ménagé en employant des clés de différentes dimensions, comme cela se fait pour les traverses métalliques, dont plusieurs centaines de mille tonnes ont maintenant été posées dans différents pays donnant des résultats satisfaisants. Si l'inclinaison de 1 sur 20 était nécessaire, elle pourrait être obtenue en laminant la semelle de différentes épaisseurs sur la largeur du patin (voir le tracé pointillé sur le dessin). La semelle est fixée à la traverse au moyen de boulons, de vis à bois ou de tire-fond ou crampons offrant ainsi à la traverse de bois tendre une surface de contact plus que double de celle offerte par le rail posé directement, ce qui aura naturellement pour effet de doubler la durée de la traverse. Le coût additionnel et le poids additionnel de 6 *kg* seraient bien compensés par cette prolongation d'existence de la traverse, et le coût total de la voie Goliath serait encore moindre que celui de la voie anglaise, avec rails à double champignon et coussinets en fonte. Si cette semelle est comptée à £ 6 par tonne (150 *f* par 1 000 *kg*) ou 50 0/0 plus cher que le rail, elle coûterait encore moins que le coussinet en fonte, qui pèse de 18 à 23 *kg* et coûte de £ 2.10.0 à £ 3 la tonne (65 à 75 *f* les 1 000 *kg*). De façon qu'il pourrait être possible d'obtenir une voie permanente aussi bonne et aussi sûre, en employant les rails à patin, qu'avec le type de rail à double champignon anglais, et à un prix un peu moindre. Mais c'est trop demander du rail à patin que de vouloir obtenir, comme c'est maintenant trop souvent le cas sur le continent, la même résistance en employant pour le rail à patin la moitié du poids de métal du rail à double champignon (coussinet compris). Un livre intéressant intitulé : ***Express, Trains, English et Foreigns***, par Foxwell et Farrer, récemment publié, classe comme « trains express anglais » tous les trains parcourant 40 milles (68 *km*) et plus par heure, y compris les arrêts, et comme « trains express continentaux » ceux parcourant 29 milles (49 *km*) et plus par heure. Dans la seconde édition de cet important ouvrage, il serait intéressant de considérer la disproportion entre le poids des rails et le poids des locomotives, additionnés pour chaque express, afin de montrer où l'augmentation du poids de rails, dans le sens du rail Goliath, se fait le plus sentir.

Comme il serait inutile d'essayer d'introduire le type de voie anglaise dans les pays où le rail à patin est déjà adopté, le seul moyen d'obtenir une voie aussi sûre et aussi forte pour le gros trafic que la voie anglaise semble être de la renforcer par l'emploi du rail Goliath avec semelles en acier, mais en laissant chacun conserver son système de rails. Et comme, heureusement, le prix de l'acier est tombé très bas, il y aurait avantage économique au point de vue du coût d'entretien, et de plus avantage au point de vue de la sécurité publique, à une vitesse augmentée. Pour faire une démonstration frappante, il suffit de comparer le poids du rail et le matériel roulant avec les canons et les plaques de blindage.

Le poids des canons a été progressivement augmenté jusqu'à 100 *t*, et l'épaisseur des plaques de blindage a été sensiblement augmentée dans la même proportion, soit jusqu'à 455 *mm*.

Le matériel roulant a doublé de poids et la vitesse a été augmentée, mais le rail est resté le même, particulièrement le rail à patin du continent. Le rail a pourtant à se défendre comme les plaques de blindage ; celle-ci reçoit les chocs des projectiles, celui-là le choc du matériel roulant, son poids devrait donc être augmenté en même temps que celui du matériel roulant, et proportionnellement.

Mais c'est précisément ce qui n'a pas été fait, car, tandis que le service du matériel augmentait le matériel roulant, pour répondre à l'accroissement du trafic, le service de la voie semblait ne pas avoir d'influence sur les administrateurs, de telle sorte que la disproportion entre la voie et le matériel roulant est devenu un fait établi sur beaucoup de lignes continentales à grand trafic.

Le rail faible peut, grâce à des arrêts et à des réparations, laisser la voie libre dans les conditions ordinaires; mais, en temps de guerre, par exemple, alors que le trafic serait doublé ou même triplé, que deviendrait ce rail faible? Et que pourrait-on faire quand il n'y a pas de temps pour remplacer ou réparer? Le rail fort a véritablement une grande importance au point de vue de la défense d'un pays, car l'armée qui peut atteindre la première le champ de bataille avec ses approvisionnements et ses munitions a certainement l'avantage. L'expérience l'a déjà suffisamment prouvé en 1870. Ainsi, le rail Goliath est réellement un moyen de défense, au moins en Europe. De plus, sa raison d'être en temps de paix a été suffisamment prouvée. L'expérience récemment acquise sur la modification de la section du rail indiquée plus haut justifiera,

espérons-nous, la production de cette seconde édition de rail Goliath; et comme le dessin de 1886 a rompu la glace en étant adopté par le chemin de fer de l'État belge, on peut espérer que celui de 1889 facilitera l'adoption générale de ce rail plus rapidement, non seulement en offrant une section meilleure et un joint plus solide, mais aussi par son système d'attache plus solide à la traverse en bois, et par l'augmentation de durée des traverses due à l'emploi des semelles d'acier (suivant dessin).

A l'Exposition de Paris, il existe un nombre suffisant de locomotives et de wagons « Goliath »; mais très peu de chose démontre le renforcement proportionnel de la voie. En fait, une des seules expositions de cette sorte est une série de modèles de rails appelés « Rails Goliath » dans la Galerie des Machines (classe 61, matériel de chemin de fer), montrant l'histoire du rail Goliath : d'abord le dessin du Goliath Sandberg de 1886, puis le modèle du même en 1887, puis le rail Goliath fait par la Société Cockerill, de Seraing, pour le chemin de fer de l'État belge, et enfin, des dessins et modèles du Goliath Sandberg de 1889, avec l'addition de la large semelle en acier, des crampons et clés en acier pour tenir le rail, et *des boulons, vis à bois ou tire-fond* pour le fixer à la traverse en bois.

Il peut naturellement arriver que, dans son adoption, des modifications soient continuellement introduites par différents Ingénieurs, résultant soit de l'expérience personnelle, soit des conditions locales, telles que le climat, etc., etc. Ceci, cependant, n'affecte en rien le principe ici posé pour le perfectionnement des voies continentales, principe qui peut être exploité par n'importe qui sans brevet; l'on peut ajouter que le mode proposé est le fruit d'une longue expérience et ne se rattache à aucun intérêt particulier, quel qu'il soit.

(A suivre)

CHRONIQUE

N° 114.

SOMMAIRE. — Exploitations forestières en Suède. — Les forêts de l'Amérique du Nord. — Constructions navales aux États-Unis. — Coups de feu dans les chaudières à vapeur. — Locomotives Fairlie.

Exploitations forestières en Suède. — Nous extrayons d'un important travail de M. L. Paquet, inséré dans le *Bulletin de la Société de Géographie commerciale de Bordeaux* et intitulé : « Les forêts de la Suède septentrionale », les parties qui concernent plus spécialement l'exploitation des bois et leur sciage.

La Suède a environ 46 0/0 de sa superficie en forêts ; c'est une proportion énorme comparativement aux autres pays. Ces forêts sont peuplées en épicéas et en pins sylvestres ; ces derniers dominent dans la proportion de 90 0/0. Le pin sylvestre est l'arbre du Nord par excellence ; il atteint ici une circonférence et une hauteur sous branches qu'on ne rencontre que rarement dans le reste de l'Europe.

Le bouleau, l'aune, le hêtre et le chêne n'ont qu'une importance tout à fait secondaire.

La création des grandes scieries mécaniques, établies en vue d'exploitations commerciales, ne date guère que d'une quarantaine d'années.

Au siècle dernier et jusqu'en 1810, l'exportation en gros des bois de construction était interdite. On ne tolérait alors aux navires que les faibles quantités de bois indispensables à l'arrimage des métaux qu'ils chargeaient pour l'étranger.

La liberté commerciale des productions forestières a été décrétée en 1846, et la réduction simultanée des droits d'importation en Angleterre, pays qui s'approvisionne presque uniquement en Suède, donna un essor extraordinaire à l'exploitation des forêts. Dès 1861, il y avait en Suède 5 032 scieries dont 59 à vapeur.

L'importance croissante de ces établissements exigea la création d'un service d'approvisionnement d'une certaine régularité, surtout pour la Suède septentrionale où, avant 1856, il n'existait que deux routes ordinaires du nord au sud. A la même époque, il n'était encore question de communication par voie ferrée que pour un court trajet dans la province la plus mérionale du pays, la Scanie.

Il s'agissait donc de créer des entreprises de flottage solidement organisées. C'est ce qui eut lieu, dès 1850, sur la plupart des cours d'eau du Norrland, où des Compagnies *(flottnings-förningar)* furent formées, com-

pagnies dont, en vertu d'une loi, les propriétaires des scieries et des hauts fourneaux sont membres obligés.

Du 1er mai au 1er juin de chaque année, les propriétaires des coupes sont tenus d'indiquer les quantités et la nature des bois à livrer au commerce et que, comme tels, ils auront à faire flotter. En même temps ils doivent les faire mettre en piles sur la berge du cours d'eau, après les avoir fait marquer avec l'empreinte de leur marteau particulier.

La Compagnie de flottage se charge alors, soit avec son propre personnel, soit avec l'intervention de brigades de tâcherons, du flottage, de l'empilage et de la répartition des bois. Ce travail terminé, elle établit le compte des frais pour chaque propriétaire d'usines au prorata des bois conduits à destination.

Certaines Compagnies de flottage se chargent aussi des travaux d'endiguement, de leur entretien, du curage des rivières et de divers autres travaux hydrauliques pour lesquels elles prélèvent une contribution supplémentaire. Cependant, le plus souvent, ces travaux sont effectués par des Compagnies spéciales, connues sous la désignation de *Strömrensningsbolag*, c'est-à-dire « Société de régularisation fluviale ». Ces Sociétés agissent en vertu des stipulations très détaillées d'un cahier des charges, et les dépenses sont soldées d'après des prix convenus et arrêtés par les parties contractantes.

Le budget annuel de certaines de ces Compagnies, telles que la Compagnie du Ljusne-Elf, une des mieux organisées pour la construction, l'entretien et la réparation des ouvrages se rapportant au flottage, s'élève annuellement à 250 000 *f* environ.

Sur les cours d'eau qui conduisent au port de la ville de Sandvall, on estime le capital engagé dans les divers ouvrages, sur une longueur d'environ 300 *km*, à plus de 10 millions de francs.

Malgré les différences de niveau relativement modérées, par rapport à la longueur totale des cours d'eau, les terrasses intermédiaires, occupées par les nombreux lacs, interrompent la pente moyenne et produisent, de distance en distance, des cascades parfois fort belles. Il est d'ailleurs à remarquer que beaucoup de rivières suédoises ont des chutes importantes à la fin de leur cours. Ainsi, le Dal-Elf, à 11 *km* seulement de son embouchure, précipite son énorme masse d'eau, divisée en deux bras, d'une hauteur de 17 *m*, en formant une des plus belles cataractes de l'Europe.

Le Ljusne-Elf, à sa sortie du lac de Marma jusqu'à la mer, sur une douzaine de kilomètres, ne se compose plus que d'une suite non interrompue de rapides alternant avec des cascades. Là aussi, la masse d'eau précipitée est très importante. Pour la hauteur de chute, on peut citer le Saut du Lièvre, sur la rivière de Lulea, tombant dans un gouffre enserré de rochers, sur une profondeur de 130 *m*.

En somme, rien n'est plus irrégulier que le cours des rivières et torrents du Norrland suédois, sur lesquels les accidents de terrain et les grandes crues rendent les travaux fort difficiles. Bien souvent, des blocs de rochers de toutes dimensions encombrent ou divisent le lit, ou bien, jetés en travers, forment des barrages. Tantôt le courant se trouve resserré au fond d'un défilé sombre formé par les parois de rochers,

tantôt il se déverse, divisé en de nombreux filets, sur une large plateforme de granit au grand soleil.

Dans le Norrland suédois, l'hiver dure de quatre à six mois ; alors, presque partout la vie s'arrête. En forêt, c'est le contraire, surtout près des cours d'eau flottables. Malgré le froid rigoureux et une couche de neige de 1 *m* à 1,50 *m*, un travail très actif marche aussi longtemps que le permet la courte durée du jour. Les coupes s'opèrent alors d'après la réglementation locale. L'arbre abattu est, selon sa longueur, façonné en billes écorcées, longues de 13 à 25 pieds; pour les bois destinés à la mâture, on laisse la longueur de 60 pieds et plus. Les arbres de forte dimension sont transformés en poutres équarries de 0,228 *m* à 0,304 *m*.

Sur les pentes abruptes, les pièces de bois sont descendues au moyen de rouleaux ; sur celles de moindre déclivité, on emploie un avant-train de traineau attelé de chevaux. Sur ce traineau, les bois sont fixés par le gros bout, tandis que l'autre, glissant sur la pente neigeuse, est manœuvré dans les tournants par un homme d'équipe jusqu'à un endroit dit *lunnplats* (littéralement : place de ralliement). A partir de là, le terrain, désormais en pente douce vers la rivière, permet de réunir avec des chaines de six à treize gros blocs sur deux traineaux formant avant- et arrière-train, distancés selon la longueur des bois et manœuvrés par deux hommes, l'un conducteur de l'attelage, l'autre dirigeant le train d'arrière.

Tout le maniement pour soulever et tourner les bois se fait avec deux outils, une sorte de très forte gaffe *(wendehaken)* et un levier *(hebebaum)*. Le cric, qui serait si utile ici, est absolument inconnu.

On agence les bois en piles près de la rivière, après avoir marqué chaque pièce au chiffre particulier du propriétaire de la coupe.

Le flottage commence au printemps; bien rarement avant le 1er mai, le plus souvent le 1er juin.

C'est alors que se produit le dégel en masse et que la crue des eaux atteint des proportions puissantes qu'il s'agit d'utiliser. Plus le niveau du courant est élevé et plus celui-ci devient rapide, moins il y aura de bois perdu en route.

Avec un courant faible, beaucoup de pièces vont s'échouer et se fixer en s'entassant sur les berges et les ilots, d'autres gonflées d'eau vont au fond. En Norvège, le fond de plusieurs lacs est, dit-on, pour ainsi dire pavé de bois, dont dans quelques années peut-être, avec la hausse des prix, l'extraction deviendra fructueuse.

Le moment propice venu, les entrepreneurs font enlever les bois des piles pour les faire pousser dans le courant où elles flottent ensuite à *bûches perdues*. En même temps, ils répartissent leurs équipes le long du cours d'eau pour guider le flottage, comme le font chez nous les hommes dits *poules d'eau*.

Tout ceci parait fort simple et pourrait faire supposer que le flottage se fait tout seul. Mais, en réalité, dans les régions fortement accidentées du Norrland suédois, les choses se passent moins facilement. Malgré les efforts considérables des Compagnies pour le curage des rivières, la rectification de leur cours, la construction de digues, l'emploi de quantité de dynamite pour faire sauter les roches qui obstruent le lit, le bois

s'accroche encore à de trop nombreux endroits, se fourre sous le creux des berges, échoue sur les plages et les ilots, ou bien, en cas de baisse subite, se fixe même parfois au milieu du courant.

Alors les pièces s'entassent les unes sur les autres et rendent celles de dessous plus fermes en les enfonçant sous leur poids.

Accumulés de la sorte, les bois finissent par former, entre deux ilots ou entre deux rochers, un véritable barrage, qui arrête toutes les pièces venant d'en haut dont la superposition successive atteint les dimensions d'un monticule composé de centaines de blocs plus ou moins gros. Si alors en amont on n'arrête pas assez à temps la mise à l'eau des bois, ou mieux si on ne se hâte pas de défaire les parties amoncelées, on s'expose à des pertes de temps et à des mains-d'œuvre extrêmement coûteuses.

Une autre cause de perte consiste dans la rupture des bois par la violence des cataractes. Ce sont les pièces déjà entamées à force d'avoir été projetées par le courant contre des arêtes rocheuses qui se brisent le plus ordinairement.

Au *Sarpen Foss*, puissante cascade près de l'embouchure du fleuve Glommen, on estimait à plus de **100 000** *f* la valeur des bois brisés annuellement ou coulés à fond. Pour éviter une perte aussi considérable, on tourna l'obstacle par un canal de dérivation de **4 200** *m* de longueur et d'une pente de **0,005** *m.* par mètre. Les mêmes raisons ont fait établir un canal de **10** *km* à Skutskar, pour contourner la chute du Dal-Elf, près de Elfkarleby.

L'accumulation des bois est surtout très fréquente au pied des cataractes, où la force de la chute plonge les billes dans le fond. En Norvège, où les chutes sont plus fortes, on est parfois obligé de recourir à la dynamite pour disloquer les amas de bois qu'elles forment.

L'expérience a prouvé que l'enlèvement par le haut, pièce par pièce, pour défaire les masses de bois entassées et les remettre dans le courant de flottage était un moyen peu pratique. Ce procédé exige un temps considérable, pendant lequel la baisse des eaux peut intervenir et rendre inutile la peine que l'on s'était donnée. L'œil exercé du connaisseur cherche à découvrir ceux des blocs qui servent d'étai aux pièces amoncelées au-dessus, ou encore les billes que le courant a dressées par le travers, formant barrage et qui, par conséquent, sont la base de tout l'entassement. C'est un travail dans lequel les hommes d'équipe ont l'occasion de montrer leur expérience, leur adresse et leur force. Les plus déterminés, en tête, armés de leurs puissantes gaffes doivent franchir en aval les blocs de rochers qui divisent le courant ; ils doivent peser et tirer sur celles des pièces que leur œil exercé a fait reconnaitre comme étant les soutiens de toute la masse.

Il faut toujours un très grand effort joint à beaucoup d'adresse pour produire l'écroulement du gigantesque bûcher dont un joyeux hourra, poussé par toute l'équipe, annonce la débâcle. C'est pourtant le moment le plus dangereux : avec le bruit du tonnerre les blocs se précipitent par les mouvements les plus inattendus, tantôt en plongeant par un bout dans les flots écumants, tandis que l'autre se dresse en l'air en faisant le moulinet, tantôt en basculant les uns sur les autres dans toutes les directions, ne donnant pas toujours aux hommes le temps de se garer ;

plus d'un est fort heureux d'en être quitte pour un bain froid. Si par hasard, en cet endroit, il y avait un rapide, le nageur le plus habile n'y résisterait pas et finirait par être broyé contre les rochers.

Tel est le champ de travail sur lequel la population suédoise et notamment la province de Vermland fournit ses plus utiles sujets et équipes de flottage, composées entièrement de jeunes gens. L'effectif de ses équipes varie de 10 à 30 hommes, sous la conduite d'un contremaître *(Vormann)*.

En cas de proximité de villages ou de fermes, ces hommes sont logés chez l'habitant. Pour les grands chantiers occupant beaucoup de monde les Compagnies font construire des maisons dites *Kaserner*. Dans les régions en montagne, éloignées de toute habitation, les hommes s'abritent sous de petites cabanes et se nourrissent de gibier (coqs de bruyère, gélinottes, etc.) et de poisson (truites, saumons, etc.) dont la chasse et la pêche sont faciles.

Sur le Ljusne-Elf, où le travail est organisé avec régularité, une brigade de 10 hommes est nécessaire pour une portion de rivière de 2 700 *m*. Quant au salaire, on paie par heure de travail :

1° Les flotteurs sur mer *(sjöflottare)* conduisant les trains de bois sur radeaux, de 0,208 à 0,234 *f*.

2° Les flotteurs de rivière et torrents *(strömflottare)* choisis parmi les jeunes gens les plus résolus, de 0,234 à 0,30 *f*.

3° Les contremaîtres, de 0,32 à 0,40 *f*.

La bizarrerie de ces chiffres provient de la transformation des couronnes suédoises en francs.

En ce qui concerne les travaux exécutés par les Compagnies le long des cours d'eau flottables, ils sont forcément en rapport avec les fonds qui leur sont alloués. Aussi, en raison des grandes distances sur lesquelles ces travaux doivent s'étendre, a-t-on souvent recours à des procédés plus ou moins primitifs.

Un engin très usité consiste en une espèce de caisse *(Kistor)* en forme de parallélipipède, charpentée en grosses pièces de bois assemblées comme les poutres des chalets suisses, ces caisses, remplies d'un blocage de grosses pierres et fixées au fond de l'eau, servent :

1° A barrer ceux des bras du cours d'eau où il y a des bas-fonds et desquels il importe de détourner les bois flottés qui, sans cette précaution, s'y entasseraient ;

2° A resserrer le courant en haut des cataractes divisées en plusieurs bras ;

3° A protéger certaines rives exposées à être ravinées ;

4° A garantir les piles des ponts contre la poussée des bois flottés.

Toutefois, ce qui, dans le Norrland suédois, caractérise plus particulièrement les travaux hydrauliques exécutés par les Compagnies dans l'intérêt du flottage *à bûches perdues*, ce sont les *bommar*, c'est-à-dire de gigantesques chapelets (ou chaines) composés de très gros troncs d'arbres longs de 30 à 40 pieds anglais (9,75 à 12,20 *m*) assemblés bout à bout avec de forts étriers à boulons et réunis par de gros anneaux en fer.

Ces chaines s'étendent, pour guider le courant, sur des milliers de

mètres et sont disposées, notamment sur le développement des rives basses exposées aux érosions, pour y empêcher l'échouage des pièces flottées. Elles servent aussi, comme les caisses, à barrer des bras de rivières ou des anfractuosités où pourraient s'arrêter les bois. Mais leur plus grande utilité est dans leur emploi comme *colliers* pour retirer et rassembler les bois débouchant dans les lacs.

Les chapelets (ou chaines) nageant sur l'eau sont amarrés de distance en distance, soit sur des anneaux scellés aux rochers, soit encore dans les lacs, par un ancrage sur des espèces de corps-morts. Les amarres doivent être disposées de manière à faire suivre les variations du niveau de hausse et de baisse des eaux à la chaine, sans que celle-ci puisse sortir des limites de son action utile.

Sur les lacs, le transport des bois à flotter se fait de deux manières différentes. Sur les petits, dont la longueur n'excède pas 10 à 12 *km*, on forme une espèce de grande enceinte circulaire dite *flotte* avec un chapelet de 100 à 120 arbres réunis bout à bout, comme on l'a expliqué plus haut, et entourant une superficie d'environ 5 *ha*. On laisse d'abord un côté ouvert par lequel on fait entrer 18 000 à 25 000 troncs d'arbres; après quoi on le ferme, de sorte que les pièces de bois à faire transporter s'y trouvent clôturées.

Pour déplacer cette masse, on se sert d'une ancre fixée, comme sur les navires à un cabestan. On mouille cette ancre à environ 300 *m* en avant et on hale dessus jusqu'à l'endroit où elle tient (cela s'appelle *varp*, c'est-à-dire *un jet*); on la lève pour la transporter à une nouvelle distance en avant, et ainsi de suite, jusqu'à l'extrémité inférieure du lac. Toute cette manœuvre s'appelle en suédois *spelflottning*, littéralement *jeu de flottage*.

La bonne marche de ce mode de transport dépend beaucoup de la brise régnante. Si celle-ci est favorable, on peut faire moyennement le kilomètre en 1 h. 40 ou 6 *km* en 10 heures.

La flotte est dirigée et remorquée par cinq hommes installés sur un petit radeau fixé à l'avant. Sur ce radeau se trouvent le cabestan et une cabane pour abriter l'équipe en cas de mauvais temps ou de vent debout qui, souvent, à lui seul, arrête complètement la marche. Quand la flotte est arrivée à l'extrémité inférieure du lac, les bois à flotter sont livrés au courant qui en est l'écoulement.

Sur les lacs d'une plus grande étendue, où vent et houle empêcheraient le fonctionnement régulier du *spelflottning*, on emploie, pour remorquer les flottes, des steamers d'un faible tirant d'eau (1 *m* à 1,45 *m*). Ce sont des bateaux de 20 à 24 *m* de longueur sur 4 à 5 *m* de largeur, parfois à deux hélices et toujours pourvus de machines verticales sans condensation, fonctionnant à 4 atmosphères et disposées pour chauffage au bois.

En temps maniable, ces bateaux mettent une heure pour faire 1 *km* en remorquant 25 000 arbres. A vide, leur marche normale est de 6 à 9 nœuds, soit 2 à 3 lieues marines de 5,557 *m*. Les remorqueurs travaillent ordinairement jour et nuit et sont pour cela munis de cabines pour le capitaine et son équipage.

(A suivre.)

Les forêts de l'Amérique du Nord. — Il n'est pas sans intérêt de rapprocher des richesses forestières de la Suède dont il est question dans l'article qui précède, celles non moins extraordinaires de certains États de l'Amérique du Nord.

Des planches de 30 *m* de longueur sur 1,80 *m* de largeur sans un seul nœud ne sembleraient pas chez nous un objet ordinaire. Il parait que des piles énormes de planches de ces dimensions sont très communes autour des scieries de Puget Sound, sur la côte nord du Pacifique. On tire ces planches de sapins gigantesques qui atteignent facilement une hauteur de 75 *m*.

Les forêts qui produisent ces sapins sont si vastes que, bien que les scieries des environs débitent environ 500 millions de pieds de bois en grume par an depuis une dizaine d'années, les vides faits par cette énorme consommation ne semblent guère avoir fait plus de vide que la formation de simples allées.

Le Puget Sound (Sound signifie détroit) a 1 900 *km* de côtes, et tout le long de ces côtes et à perte de vue s'étendent des forêts peuplées d'arbres de ce genre. Rien de pareil n'existe ailleurs. Des statistiques officielles plus ou moins exactes estiment le cube de bois de ces forêts à 500 milliards de pieds, soit approximativement un approvisionnement de 1 000 années au taux de la consommation annuelle. Ces bois occupent 30 millions d'acres du territoire de Washington.

Les scieries de Puget Sound travaillent uniquement pour l'exportation; elles fournissent de bois l'Amérique du Sud, l'Amérique centrale, les îles des côtes du Pacifique, l'Australie, etc.

Constructions navales aux États-Unis. — D'après les documents officiels, le tonnage des navires construits sur les divers chantiers des États-Unis dans l'exercice qui s'est écoulé du 1er juillet 1887 au 30 juin 1888 s'élèverait au chiffre de 218 086 tonneaux. Sur ce total 38 0/0 appartiennent aux chantiers des ports de l'Atlantique, 10 0/0 à ceux du Pacifique, 46 à ceux des Lacs et 6 aux rivières de l'Ouest. Les navires en fer ou acier ne figurent que pour le chiffre modeste de 36 700 tonneaux.

La construction navale semble légèrement en progrès, car le total des navires construits l'année précédente n'était que de 150 449 *t*; l'augmentation est donc de 67 600. Néanmoins le total que nous venons d'indiquer de 218 000 *t* est bien modeste si on considère qu'en 1887 les seuls chantiers de la Clyde ont produit 280 000 *t* de navires et ceux de la Tyne 213 000, c'est-à-dire autant que les États-Unis ensemble. Sur le total de 903 687 *t* qui représente la production de la Grande-Bretagne pour 1887, 9 0/0 seulement sont des navires à voiles et les 9/10 des navires construits le sont en acier. Ce résultat indique avec quelle rapidité s'est propagé l'emploi de ce métal dans la construction maritime en Angleterre et en Ecosse.

Coups de feu dans les chaudières à vapeur. — Les *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers* contiennent dans le premier numéro de la seconde série un travail extrêmement intéressant de M. Hirsch, Ingénieur en chef des ponts et chaussées et professeur au

Conservatoire, sur ses expériences sur les coups de feu dans les chaudières à vapeur.

Il y a *coup de feu* lorsque la tôle constituant la paroi d'une chaudière a été portée au rouge sur une étendue plus ou moins grande, et cet état est caractérisé par divers indices, notamment par la teinte bleuâtre que prend la tôle sur la partie exposée à la chaleur.

On est peu fixé sur les circonstances qui peuvent amener la production de coups de feu. Si la transmission de la chaleur s'effectue bien à travers une tôle, il semble que si cette tôle est constamment mouillée à l'intérieur, il ne peut se produire de surchauffe extérieure et on recourait toujours à l'hypothèse du manque d'eau pour expliquer ces phénomènes.

L'auteur examine tout d'abord la question de la transmission de la chaleur dans une chaudière, transmission qui, comme on sait, met en jeu trois faits différents ; la conductibilité extérieure de la chaleur au métal, la conductibilité intérieure dans le métal et la conductibilité extérieure du métal à l'eau.

Il parait certain que, dans les conditions ordinaires, la face extérieure de la tôle est à une température bien plus basse que celle des gaz en contact et que la face intérieure est à une température de très peu supérieure à celle de l'eau qui la baigne. Il en résulte que l'obstacle le plus serieux à la transmission de la chaleur à l'eau est l'entrée du calorique dans le métal.

L'étude se divise en trois parties :

1° Recherches sur la vaporisation dans les chaudières au droit du coup de feu ;

2° Expériences sur la transmission de la chaleur à travers le métal et du métal à l'eau ;

3° Etude spéciale de l'influence des enduits gras.

On ramène généralement la vaporisation des générateurs au mètre carré de surface de chauffe, mais on n'a que des moyennes, tandis que la production des différentes parties d'une chaudière est très différente. Des expériences faites autrefois au chemin de fer du Nord sur une chaudière de locomotive divisée en tronçons successifs a montré une décroissance rapide de la vaporisation à partir du foyer, à tel point que l'extrémité des tubes ne donnait, surtout avec une combustion modérée, qu'une vaporisation à peu près insignifiante. Sur le foyer et une faible longueur de tubes formant le premier compartiment, on obtint une production de vapeur de 218 *kg* par heure et par mètre carré de surface de chauffe, eau entrainée comprise.

Il est très difficile de définir l'intensité du feu. Si on prend pour base la production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe, on ne peut établir de comparaison entre des chaudières de systèmes différents, car le chiffre limite, acceptable pour une chaudière, cesserait absolument de l'être pour une autre. Il est certain qu'au point de vue des coups de feu, c'est seulement la partie voisine du foyer qui est à considérer.

Or, si une chaudière travaille à une allure exagérée, si, sans rien changer ni au foyer ni à l'allure de la combustion, on allonge les tubes, la vaporisation moyenne diminuera, sans que le danger existant dans

la vaporisation exagérée des surfaces directes ait le moins du monde disparu.

Il n'est pas plus exact de prendre comme terme de comparaison la consommation de combustible par mètre carré de surface de grille et par heure. On peut dire que la question n'a pas encore reçu de solution.

Les expériences de M. Hirsch ont eu pour objet de mesurer les quantités de chaleur qui, dans une chaudière en service, traversent la paroi au-dessus de l'autel. A cet effet on a pris une chaudière convenablement appropriée; dans la région du coup de feu, immédiatement au-dessus de l'autel, on a isolé une portion de la paroi présentant une surface d'environ un décimètré carré, et on a mesuré la quantité de vapeur dégagée par cette surface dans un temps donné. L'isolement a été réalisé par l'installation sur la paroi d'un cylindre vertical à joint étanche. L'eau évaporée dans le cylindre était jaugée au moyen d'un tube de niveau d'eau mis en communication avec lui par une tuyauterie spéciale.

Les expériences sont résumées dans un tableau où elles sont rapprochées des quantités de houille consommées par mètre carré de surface de grille et par heure. Cette dernière a varié de 80 à 238 *kg*. Le tirage était produit par une cheminée de 27 *m* de hauteur et était déjà violent avec le registre entièrement ouvert, mais on pouvait l'activer encore au moyen d'un souffleur lançant un jet de vapeur dans l'axe du rampant. La production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure a varié de 80 à 245 *kg* de vapeur.

Ce tableau donne lieu à des remarques intéressantes. Comme on vient de le voir, la consommation de houille par mètre carré de grille et par heure n'est pas descendue au-dessous de 80 *kg*. C'est déjà beaucoup pour des chaudières de ce genre où, en général, on brûle 50 ou 60 *kg*.

On peut dire que les consommations de 150 *kg* doivent être considérées comme dangereuses avec le type de chaudière sur lequel ont été faites les expériences; quant aux chiffres supérieurs qui ont été jusqu'à 235 ils correspondent à une allure à outrance.

De même, la vaporisation, même moyenne, de la chaudière, a été excessive. Des chaudières de ce genre ne produisent souvent que 8 à 12 *kg* de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure, 20 au maximum.

On a été dans les expériences à 47 au minimum et 94 au maximum. En somme, on peut conclure que, dans les allures ordinaires des générateurs fixes de l'industrie, la vaporisation au coup de feu ne semble pas devoir dépasser 100 à 140 *kg* par mètre carré de surface de chauffe et par heure. Il ne paraît pas que, dans aucun cas de la pratique courante, cette vaporisation atteigne le chiffre de 250 *kg*.

La seconde partie du travail qui nous occupe est consacrée à des expériences sur la transmission de la chaleur à travers le métal et du métal à l'eau. Le principe consiste à soumettre une portion de tôle à un feu violent, l'autre face étant refroidie par de l'eau, et à mesurer, d'une part, la quantité de chaleur qui traverse la paroi, d'autre part, la température que prend la tôle sur la face exposée au feu.

On a pris un disque de 0,40 *m* de diamètre en tôle de 10 *mm* d'épais-

seur, on l'assemble avec un cylindre en cuivre rouge, de manière à former une chaudière, laquelle a été placée dans un fourneau en terre réfractaire. Le chauffage se faisait par un gros chalumeau Schlœsing, alimenté par une conduite de gaz et une soufflerie.

On jaugeait la quantité de vapeur produite en mesurant le poids d'eau distillée qu'il était nécessaire d'introduire dans la chaudière pour y maintenir le niveau constant.

Quant à la mesure des températures de la tôle, il était évidemment impossible de la faire directement, aussi a-t-on dû se contenter d'une approximation, en employant des alliages fusibles à des températures graduées et connues dont on a formé des chevilles que l'on enfonçait dans des trous pratiqués dans la tôle.

Après chaque expérience, on examinait le fond de la chaudière, un certain nombre de chevilles étaient fondues, les autres intactes, on pouvait donc apprécier les limites entre lesquelles s'était maintenue la température.

Le point de fusion des alliages était vérifié directement pour ceux qui ne dépassent pas 300 degrés. Au delà on a dû se contenter de plomb et de zinc pour lesquels on a admis les températures respectives de 335 et 450 degrés. Ces températures, surtout la dernière, sont un peu incertaines.

Nous ne donnons ici que le principe des expériences en renvoyant au mémoire même de M. Hirsch pour la marche de celles-ci et les précautions minutieuses à prendre pour en assurer la réussite.

La quantité d'eau vaporisée est ramenée à la vaporisation par mètre carré et par heure. Cette quantité a varié de 100 à 370 *kg* (en eau prise à zéro degré). De l'état des chevilles on déduisait la température atteinte par la tôle et les résultats étaient résumés dans un tableau graphique. Pour dresser ce tableau, on traçait deux axes de coordonnées, les abcisses représentant les quantités d'eau vaporisées par mètre carré et par heure et les ordonnées les températures. Ce tableau préparé, on y inscrit les résultats obtenus, ce qui permet de tracer une ligne qui s'inscrira à peu près dans les points représentant les résultats d'expériences. Cette ligne est assez bien déterminée, c'est une ligne droite.

De l'examen de ce tableau, on peut conclure que, à mesure que la vaporisation devient plus active, l'écart entre la température de la face chauffée de la tôle s'élève progressivement. Cet écart est de 100° pour une vaporisation de 200 *kg* et il ne dépasse pas 150, même lorsque la vaporisation arrive au chiffre énorme de 300 *kg*. Cette remarque est importante et rassurante à la fois ; elle fait voir que, même avec des vaporisations extrêmement actives, la température de la tôle ne peut jamais atteindre 280°. Il ne semble donc pas que, dans la pratique, on ait à redouter un coup de feu en pleine tôle, quelle que soit l'activité de la vaporisation, si le métal est sain, bien continu et directement mouillé par l'eau. Mais il peut en être autrement si des circonstances quelconques viennent à gêner la transmission libre de chaleur, soit dans la masse du métal, soit entre le métal et l'eau.

Dans ce qui précède, il n'a été question que d'eau pure ; on employait de l'eau distillée pour les expériences. Ces expériences ont été répétées

avec de l'eau contenant de l'amidon pour la rendre visqueuse. On a fait deux séries d'expériences, l'une avec 2 millièmes, l'autre avec 5 millièmes d'amidon.

Avec la première, la ligne des températures est un peu plus élevée que celle fournie par l'eau distillée, mais les écarts ne dépassent pas une quinzaine de degrés.

L'eau amidonnée à 5 0/00 est beaucoup plus visqueuse et donne à l'ébullition un boursouflement très intense. La ligne des températures se maintient un peu plus élevée. Il est rare que l'on atteigne cette proportion lorsqu'on fait usage de matières amylacées pour combattre les incrustations, de sorte que l'emploi de l'amidon ne semble pas devoir présenter de danger au point de vue des coups de feu.

Il a été fait divers essais en recouvrant le fond de la chaudière de couches minces de plâtre. Avec une épaisseur de 1 *mm*, la ligne des températures s'est tenue à 30° environ au-dessus de celle fournie par l'eau distillée mouillant directement la tôle.

Une couche de 5 *mm* a donné des résultats plus nets. Pour une vaporisation de 150 *kg* la température de la tôle a dépassé 250° et pour 200 *kg* 400°. Ces chiffres sont supérieurs de 35 et 210° à ceux fournis par l'eau mouillant directement la tôle. Il faut voir les effets fâcheux des incrustations.

Pour apprécier l'influence des solutions de continuité dans l'épaisseur des tôles, par doublure ou paille, on a soudé sur le fond de la chaudière une tôle d'acier de 5 *mm*. On a constaté des écarts de 50° pour une vaporisation de 100 *kg* et de 70 pour 300 *kg*. Au dernier point, la température de la tôle dépasse de plus de 200° celle de l'eau. Ce fait semble indiquer qu'il peut y avoir des inconvénients sérieux à exposer les clouures des chaudières à des feux trop ardents, même lorsque le contact entre les tôles rivées est tout à fait intime.

Des expériences faites avec un double fond avec interposition de talc ont montré qu'avec une vaporisation de 150 *kg* la température de la tôle dépassait 350°, avec une vaporisation plus élevée, la température a dû dépasser 450°, c'est-à-dire qu'on était sous la menace d'un coup de feu imminent. C'est une démonstration évidente du danger que peuvent présenter les pailles dans le voisinage du foyer.

On a essayé d'apprécier si le voisinage de maçonneries portées à une température élevée pouvait élever assez celle de la tôle pour expliquer certains coups de feu par cette circonstance. Les résultats ne semblent pas devoir autoriser cette supposition.

(A suivre.)

Locomotives Fairlie. — MM. Neilson et Cie, des Hyde-Park Locomotive-Works, à Glasgow, viennent de terminer, pour le compte des Chemins de fer mexicains, des locomotives de très grande puissance du type Fairlie, construites sur les plans de Sir Alexander-M. Rendel.

Ces machines sont portées sur deux bogies, chacun à six roues de 1,07 *m* de diamètre, actionnées par deux cylindres de 0,406 *m* de diamètre et 0,560 *m* de course. L'écartement des essieux de chaque groupe est de 2,515 *m* et l'écartement total des essieux extrêmes de 9,885 *m*. La

pression à la chaudière est de 11,7 *kg* par centimètre carré. Les caisses à eau ont une capacité de 12 800 *l* et les soutes à charbon peuvent contenir 5 000 à 6 000 *kg* de combustible. Le poids total de la machine avec ses approvisionnements atteint 92 000 *kg*, ce qui fait un peu plus de 15 *t* par essieu.

On estime que ces locomotives exerceront un effort de traction correspondant à la remorque en palier d'un train de 3 600 *t*, ce qui représenterait 240 wagons pesant 15 *t* chacun. Elles sont destinées à desservir une section de 22,5 *km* en rampe de 40 millièmes avec des courbes de 106,5 *m* de rayon.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

AVRIL 1889

Rapport de M. HIRSCH sur le **clapet-pendule** de M. P. CARETTE.

C'est un clapet de retenue de vapeur susceptible de se fermer dans les deux sens et muni d'un contrepoids qui le maintient dans la position moyenne. Une lame de ressort donne à cet appareil une qualité précieuse, savoir : la faculté de se fermer du côté de la chaudiere sous une très faible dépression et, au contraire, de n'obstruer l'orifice opposé que dans le cas d'une dépression assez forte.

Rapport de M. ROUSSELLE sur les **étuves à désinfection** de MM. GENESTE ET HERSCHER.

MM. Geneste et Herscher emploient uniquement pour la désinfection la vapeur d'eau élevée à 110 ou 115°. Ils construisent deux systèmes d'étuves, les unes fixes, pour lazarets, hôpitaux, etc., les autres susceptibles d'être transportées où besoin est, à l'aide de chevaux.

L'appareil se compose en principe d'un corps cylindrique en tôle, recouvert extérieurement par une enveloppe isolante et fermée à ses deux extrémités par des portes en tôle.

L'étanchéité s'obtient par l'interposition d'un anneau en caoutchouc. Un chariot à claire-voie, porté par des galets roulant sur des rails, reçoit les objets à désinfecter, tels que matelas, etc.

Dans l'intérieur du cylindre sont attachées deux batteries, chacune de 11 tubes en fer, l'une contre la paroi supérieure, l'autre dans le vide qui se trouve sous le chariot; ces tubes reçoivent la vapeur venant de la chaudière; leur but est d'éviter les condensations dans l'intérieur de l'étuve et d'activer le séchage après l'opération.

On chauffe d'abord l'étuve en envoyant dans les tubes de la vapeur à 135 ou 140 degrés; on introduit le chariot et les objets à traiter, puis, l'étuve refermée, on introduit directement dans celle-ci de la vapeur qu'on maintient entre 1/2 et 7/10 de kilogramme pendant cinq minutes. On supprime la pression en soulevant une des soupapes, puis on introduit de nouveau la vapeur avec la même pression qu'au début. L'opération est terminée quinze minutes après que le manomètre a marqué pour la première fois 1/2 kilogramme. On ramène la pression

à zéro; on entr'ouvre la porte de l'étuve et on laisse pendant vingt minutes les objets exposés à la chaleur sèche.

Dans les appareils transportables, l'étuve et le générateur à vapeur sont montés sur un train de voiture à quatre roues.

Rapport de M. H. LE CHATELIER sur l'ouvrage de M. CANDLOT, intitulé : **Étude pratique sur le ciment de Portland.**

Les conclusions de ce rapport sont intéressantes à signaler. M. Candlot, après avoir étudié d'une façon minutieuse toutes les circonstances qui influent sur les essais, cherche à formuler une méthode pour exécuter ces essais. Les règles qu'il indique doivent être suivies, en effet, si l'on veut obtenir de ces essais, non par les résultats les meilleurs, mais les moins mauvais.

En réalité, la conclusion la plus nette, bien qu'énoncée nulle part, qui ressort du travail de M. Candlot, est que tous ces essais, quelque soin qu'on y apporte, n'apprennent que bien peu de chose sur les qualités réelles d'un ciment.

Ils permettent d'affirmer que, dans certains cas particuliers, un ciment est certainement mauvais, mais jamais qu'il est certainement bon, ce qui serait beaucoup plus intéressant à savoir.

Ce résultat décourageant tient, en dehors des difficultés inhérentes au sujet, à ce que tous les essais usités actuellement ont pour objet de mesurer la grandeur de certaines qualités des ciments tout à fait étrangères à celle dont on a besoin dans la pratique. Une analyse faussement établie entre les constructions métalliques et les constructions en maçonnerie fait généralement attribuer aux essais de résistance une importance tout à fait exagérée. Il est très intéressant, pour un fer que l'on fera travailler normalement à 10 *kg* par millimètre carré, de savoir si sa limite d'élasticité est à 15 ou 20 *kg*. Mais pour un ciment auquel on ne demandera jamais un effort de 10 *kg* par centimètre carré à l'écrasement, qu'importe qu'il donne aux essais des résistances de 300 ou de 500 *kg* ?

Il ne semble pourtant pas impossible d'arriver à trouver des méthodes rationnelles d'essais des ciments permettant de mesurer directement la grandeur des qualités mêmes qui interviennent dans leur emploi pratique, telles que la résistance proprement dite, l'adhérence suffisante avec les matériaux de construction, la résistance aux variations atmosphériques et aux sels magnésiens contenus dans l'eau de mer, etc.

Rapport de M. E. PLON sur l'ouvrage de M. MONET intitulé **Procédés de reproductions appliqués à l'imprimerie.**

L'**Industrie du naphte à Bakou** (Extrait des *Mémoires de la Société impériale technique de Russie).*

Les **Mines de rubis de Burma** (Extrait du *Journal of the Society of Arts).*

Précipitation électrique des métaux du groupe du platine (Traduit du *Scientific american.*)

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

FÉVRIER 1889

Etude sur **l'Etablissement et l'entretien des ports en plage de sable**, par M. EYRIAUD DES VERGNES, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Ce mémoire, très considérable, rend compte des expériences de dragage à la mer dirigées par l'auteur à Dunkerque et présente, comme conclusion de ces expériences, une étude générale des questions qui concernent l'établissement et l'entretien des ports en plage de sable.

L'étude se divise en quatre sections : la première est relative aux dragages intérieurs ; la seconde aux dragages extérieurs ; la troisième définit et discute les conditions d'établissement et d'entretien du port de Dunkerque ainsi que les améliorations qu'il conviendrait d'y apporter ; enfin la quatrième, après avoir discuté quelques exemples caractéristiques des systèmes divers pratiqués ou proposés pour l'établissement de ports ouvrant sur une plage de sable, résume les indications qu'il semble le plus sûr de suivre lorsqu'on a à tracer les ouvrages extérieurs de ports semblables.

Les deux premières parties contiennent des renseignements très détaillés et très intéressants sur les travaux de dragage exécutés, non seulement à Dunkerque, mais encore dans divers ports, ainsi que sur le matériel employé, avec discussion sur la préférence à donner à tel ou tel type de drague ou de porteur ; elles constituent en quelque sorte un véritable traité de dragage.

La dernière partie contient la description d'un grand nombre de ports étrangers établis dans les conditions qui font l'objet du memoire.

L'auteur conclut que les expériences faites à Dunkerque ont prouvé qu'avec le dragage on peut lutter avantageusement contre les apports de sables et que les dragages à la mer peuvent être faits très économiquement, au prix, par exemple, de 0,20 *f* par mètre cube dragué et transporté au large, ce prix ne comprenant pas l'amortissement et l'intérêt du capital. Il indique en outre que lorsqu'on a à étudier les conditions d'établissement d'un port sur une plage de sable, il convient de tenir grand compte du régime des vents et des lames qu'ils produisent. Ces lames sont en effet les principaux agents de déplacement des sables et leur action est de beaucoup supérieure à celle des courants de marée.

Parmi les systèmes qui peuvent être employés pour permettre les opérations des navires devant une côte de sable, le seul qui soit exempt de toute crainte de modification du régime de la côte est celui qui consiste à créer l'abri par de grandes profondeurs au moyen d'un brise-lames ou d'une combinaison de brise-lames reliés à la terre par des viaducs.

L'emploi des jetées parallèles est efficace, à la condition qu'elles ne soient pas trop rapprochées et qu'elles soient poussées jusqu'à des profondeurs notablement supérieures à celles qu'il s'agit de maintenir sur l'entrée.

Le système des jetées convergentes embrassant une enceinte plus ou moins étendue paraît être celui qui répond le mieux aux exigences de la navigation, à condition d'observer dans la disposition de ces jetées certaines conditions en rapport avec le régime des vents qui règnent dans la localité. Toutes ces observations font voir combien est difficile l'établissement ou le maintien d'un port en plage de sable et de combien d'observations et d'études doit être entourée la préparation du projet d'un port de ce genre. Il est certain que le mieux serait d'éviter les emplacements qui sont la cause de tant d'embarras et de dépenses. Mais les exigences de la navigation ne le permettent pas et l'ingénieur n'a, en général, qu'une liberté restreinte dans le choix de l'emplacement d'un port, emplacement le plus souvent indiqué par des considérations d'un ordre supérieur.

Note sur la **reconstruction du pont de Monistrol d'Allier**, par M. Alby, Ingénieur des ponts et chaussées.

Le pont suspendu de Monistrol-d'Allier, depuis le rachat, n'offrant plus de garanties de sécurité suffisantes, on a dû songer à le remplacer. La comparaison de divers devis fit voir que la solution la plus économique était un pont métallique fixe en acier de 66 *m* de portée posé sur les anciennes culées. Ce pont, travaillant à 10 *kg* dans les membrures, 8 dans les barres de treillis et 6 dans les pièces de pont, pèse 138 *t*, soit 500 *kg* par mètre carré de plate-forme utile (entre garde-corps) ou 2 000 *kg* par mètre linéaire. Avec voûtes en briques pour supporter le tablier, il a coûté 80,000 *f*.

L'auteur de la note croit pouvoir conclure que l'obligation d'établir les ponts suspendus pour résister à une charge de 300 *kg* par mètre courant, l'emploi de garde-corps rigides, la construction d'amarrages facilement visitables et bien aérés, les dispositions destinées à rendre les pièces amovibles compliquent tellement ces ouvrages et augmentent leur prix dans des proportions telles que les ouvrages métalliques fixes, surtout grâce à l'emploi de l'acier, peuvent l'emporter de beaucoup en économie pour des portées de 70 *m*. Les ouvrages fixes offrent, au point de vue de la simplicité de l'entretien et de la rusticité, une supériorité indiscutable qui leur fait donner la préférence sur les plus élégantes et les plus ingénieuses combinaisons de câbles, de boulons, de tringles et d'articulations.

La partie métallique du pont de Monistrol-sur-Allier a été exécutée par la maison Eiffel.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

District du Centre

Séance du 25 novembre 1888, à Montluçon.

Communication de M. Blanchard sur **l'emploi des chapeaux en fer dans les soutènements des tailles** à la mine de Commentry.

Les premières applications de chapeaux en fer pour le soutènement des tailles ont été faites à Commentry en 1878. On employa d'abord de vieux rails de 15 *kg*, assujettis dans des coussinets. Les résultats furent médiocres ; les rails étaient trop cassants et ne pouvaient résister à des charges brusques. Après une expérience prolongée, on s'est arrêté à un type de barre à section rectangulaire de 80 *mm* sur 30 et de 3,50 *m* de longueur, pesant 65 *kg*, soit 18,6 *kg* le mètre. Il y a actuellement 1 350 chapeaux en fer en service à la mine de Commentry. Le boisage avec chapeau en fer, placé parallèlement à la taille, occasionne une dépense de 1,45 *f* par cadre et de 0,12 *f* par tonne, alors que le boisage ordinaire coûte 4,15 *f* par cadre et 0,46 *f* par tonne et que, pour le boisage avec chapeaux en bois de 3 *m*, les chiffres respectifs sont encore 2,45 *f* et 0,27 *f*.

Station centrale d'électricité de Montluçon. — L'usine d'éclairage électrique de Montluçon est faite pour 600 lampes. Elle renferme une machine horizontale à condensation et détente variable par le régulateur de Buffaud et Robatel, de Lyon. Le cylindre a 400 *mm* de diamètre et 800 *mm* de course et la machine peut développer 60 chevaux. La vapeur est fournie par une chaudière horizontale tubulaire avec deux réchauffeurs latéraux de 65 m^2 de surface de chauffe timbrée à 7 *kg*.

La machine actionne deux dynamos Edison à courant continu, disposées en dérivation. A 950 tours la force électromotrice est de 105 volts.

Les lampes sont à incandescence de 16 bougies, à fils de platine. Les câbles conducteurs sont en cuivre à 3 torons de 12 fils de 2 *mm* de diamètre.

En brûlant du menu brut des Ferrières, on dépense 480 *kg* de combustible pour sept heures, soit de cinq heures et demie à minuit et demie, avec 300 lampes allumées. La lumière est d'une fixité absolue.

Réunions de Saint-Étienne

Séance du 4 mai 1889.

Communication de M. Buisson sur le **câble-chaîne** de M. Delage.

Il a été fait des essais sur trois échantillons de ce câble, dont il a été question dans une précédente réunion. Ces essais ont constaté des allon-

gements de 28 0/0, et la rupture sous des charges de 41 à 45 *kg* par millimètre carré. Ces résultats sont très défavorables, car des câbles en aloès, de même poids, résisteraient à des charges triples ou quadruples et des câbles en fil d'acier ne pèseraient, pour la même charge, que 2 à 3 *kg* le mètre au lieu de 14 à 19 *kg*. La conclusion est que le câble-chaine Delage ne saurait être employé avantageusement à aucun point de vue.

Machine d'extraction, système Wheelock, installée aux mines d'Aniche.

Cette machine a deux cylindres de 0,850 *m* de diamètre et 1,600 *m* de course. Elle a été installée par M. de Quillacq et comporte la dernière disposition avec tiroirs à grilles et déclic. Elle doit satisfaire à une extraction de 150 à 200 000 *t* de houille par an, à une profondeur comprise entre 500 et 750 *m*, avec dix heures de travail par jour. Outre ce travail, l'épuisement de l'eau doit se faire la nuit au moyen de bennes avec la même machine. La charge avec 4 berlines est de 3 900 *kg* et, pour l'épuisement, on a admis une charge maximum de 4 500 *kg*.

Câbles en acier pour plans inclinés. — On emploie aux mines de La Perronnière des câbles en acier de 10 *mm* de diamètre, pesant 300 *g* par mètre courant et composés de 6 torons de 4 fils d'acier doux n° 9, soit de 1,4 *mm* de diamètre. Le fil résiste à 120 *kg* par millimètre carré, de sorte qu'en le faisant travailler à un dixième on a 12 *kg* par millimètre carré et le câble porte avec une complète sécurité 444 *kg*. Ce câble a une durée double de celle du câble en fer de 14 *mm* de diamètre, qui coûte le même prix.

A Saint-Chamond, on emploie, depuis 1882, des câbles en acier de six torons de sept fils, dont un en acier. Les câbles en fil n° 12 ont 15 à 16 *mm* de diamètre et pèsent 940 *g* le mètre. La résistance de ce fil est de 130 *kg* par millimètre carré ; à la rupture, le câble s'enroule sur des poulies de 1,50 *m* de diamètre. Ces câbles ont une très grande durée.

SOCIETE DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 21. — 25 *mai* 1889.

Embrayage pour arbres et engrenages, par Ed. Ernst.

Progrès des moteurs thermiques, par Georg Schimming.

Voies avec traverses métalliques, par Muskewitz.

Influence de la tension initiale sur la torsion, par G. Ensrad.

Électro-technique. — Conducteurs électriques souterrains. — Éclairage électrique, système Westinghouse.

Groupe de Hambourg. — Développement de la navigation transatlantique et nouveaux paquebots à grande vitesse.

Association des chemins de fer. — Frein Westinghouse à effet accéléré. — Vitesse des trains de chemins de fer.

Patentes.

Bibliographie. — Manuel du monteur d'installations électriques, de Von Gaisberg.

Variétés. — Gisements aurifères du Sud de l'Afrique. — Traction par câbles sur les canaux. — Quatrième Assemblée générale des mineurs allemands.

N° 22. — 1er *juin* 1889.

Notice nécrologique sur le docteur Karl von Ehmann.

Embrayages pour arbres et engrenages, par M. Ad. Ernst *(suite)*.

Nouveau procédé de jaugeage des déversoirs de M. Bazin, par le docteur K. Keller.

Chauffage et ventilation. — Purification de l'air. — Chauffage de l'air. — Conduites de chauffage. — Installations de chauffage et ventilation.

Groupe de Cologne. — Prix du gaz pour force motrice.

Groupe du Rhin inférieur. — Force et matière. — Parachutes pour puits de mines. — Superstructure de chemins de fer.

Patentes.

Bibliograghie. — Calculs d'établissement des machines électriques, par H. Geist. — Exposition de moteurs et machines-outils à Münich, par M. Schroeter.

Variétés. — Procédé de blanchiment Hermite.

N° 23. — 8 *juin* 1889.

Embrayages pour arbres et engrenages, par Ad. Ernst *(suite)*.

Fours à régénérateurs de la verrerie de Flensburg, par Rob. Dralle.

Chauffage et ventilation. — Installations centrales de chauffage pour les villes *(suite)*.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Machine dynamo de Lahmeyer.

Patentes.

Bibliographie. — Les pompes, par K. Hartmann,

Programme de la XXXe réunion générale de l'Association à Carlsruhe.

N° 24. — 15 *juin* 1889.

Grue roulante de 1 500 *kg* construite par C. E. Rost et Cie, à Dresde.

Éclairage électrique de la gare de Stuttgard, par H. Cox.

Résistance des solides au mouvement dans des canaux de dimensions limitées, par E. Dietze.

Jurisprudence. — Brevets d'invention.

Chauffage et ventilation. — Chauffage à vapeur à basse pression *(fin)*.

Groupe de Berlin. — Protection des ouvriers.

Groupe de Hesse. — Machines Compound.

Patentes.

Bibliographie. — Confection des dessins pour les ateliers de construction, par J.-F. Weyde et A. Weickert.

Variétés. — Transmissions par courroies.

N° 25. — 22 *juin* 1889.

Nouvelles installations d'extraction du puits Vierwinde, à Bendorf, par Aug. Trüpel.

Espace nuisible dans les machines à comprimer ou à raréfier l'air, par H.-A. Hülsemberg.

Procédé graphique d'interpolation, par le docteur R. Mehruke.

Pivot de pont tournant de C.-O. Fritsch, de New-York.

Enregistreur de niveau d'eau de la distribution d'eau de Leeuwarde.

Groupe de la Ruhr. — Fabrication et emploi des briquettes de lignite.

Patentes.

Variétés. — Conducteurs électriques en plomb. — Établissement d'enseignement technique d'Hildburghausen.

N° 26. — 29 *juin* 1889.

Influence de la construction et de l'armement de navires sur les accidents de mer et moyens de prévenir ces derniers, par R. Hauck.

Espaces nuisibles dans les machines à comprimer et à raréfier l'air, par H.-A. Hülsemberg *(suite)*.

Cas importants dans la question des brevets d'invention, par J. von Schütz.

Turbine à vapeur de Parson, par Stribeck.

Groupe de Francfort. — Syndicats pour la production métallurgique.

Groupe des Marches. — Essais des ciments. — Système de construction de Monier.

Patentes.

Correspondance. — Organisation des écoles techniques moyennes. — Chauffage et ventilation. — Réparation des parois des réservoirs d'eau.

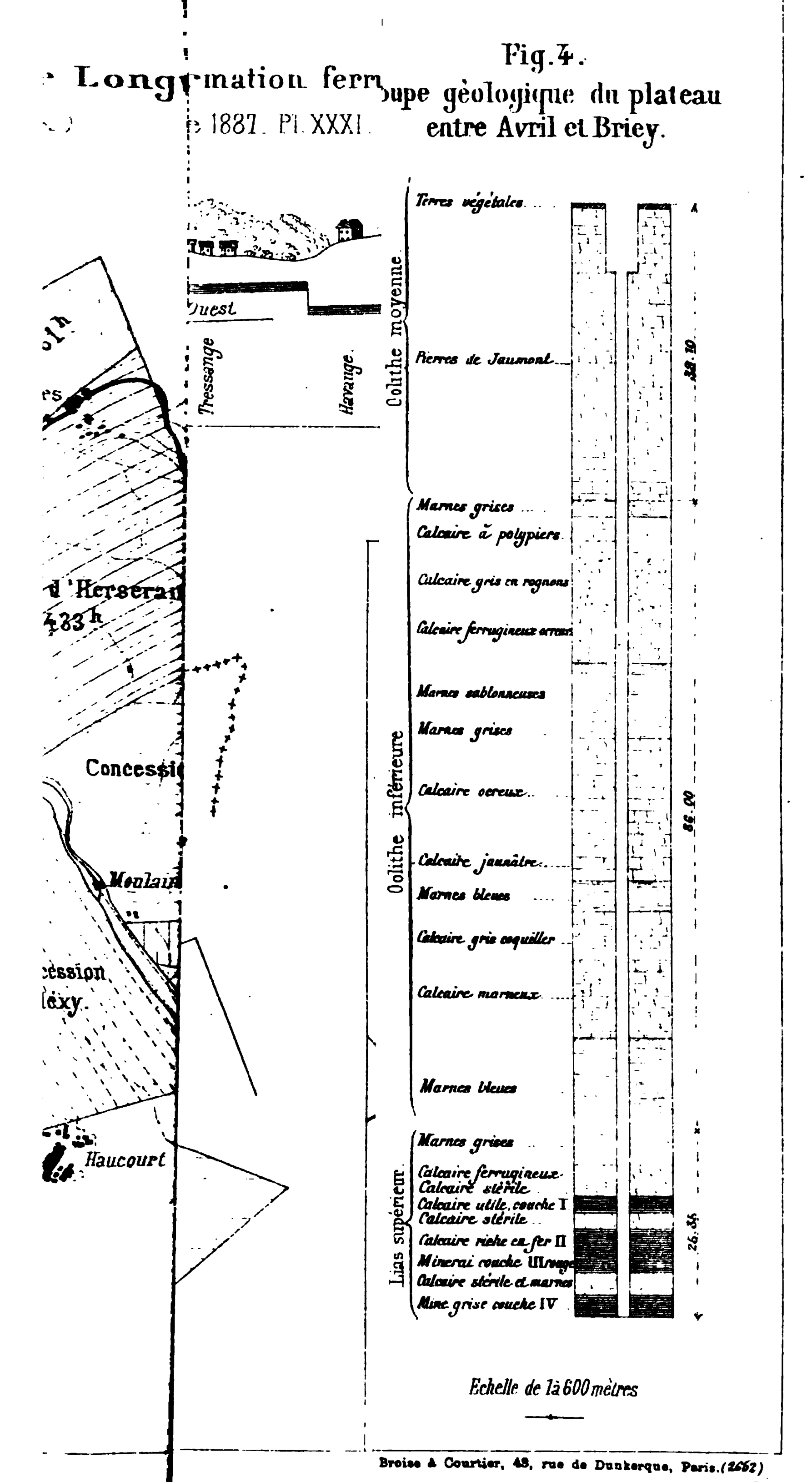
Variétés. — Chemins de fer électriques aériens.



TABLE DES MATIÈRES

TRAITÉES DANS LE 1er SEMESTRE — ANNÉE 1889.

PARIS. — IMP. CHAIX, 20, RUE BERGÈRE. — 1621.6-8-9.



Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. (2662)

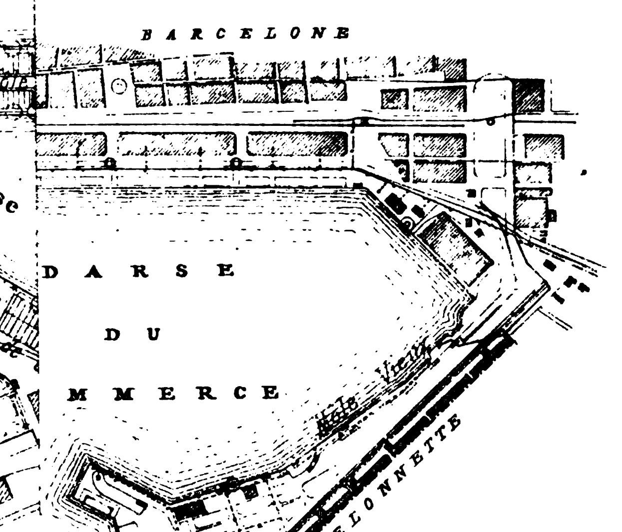
RT DE BARCELONE.

Echelles { Port définitif 1/8000e
Port ancien 1/14000e

el de Barcelone.

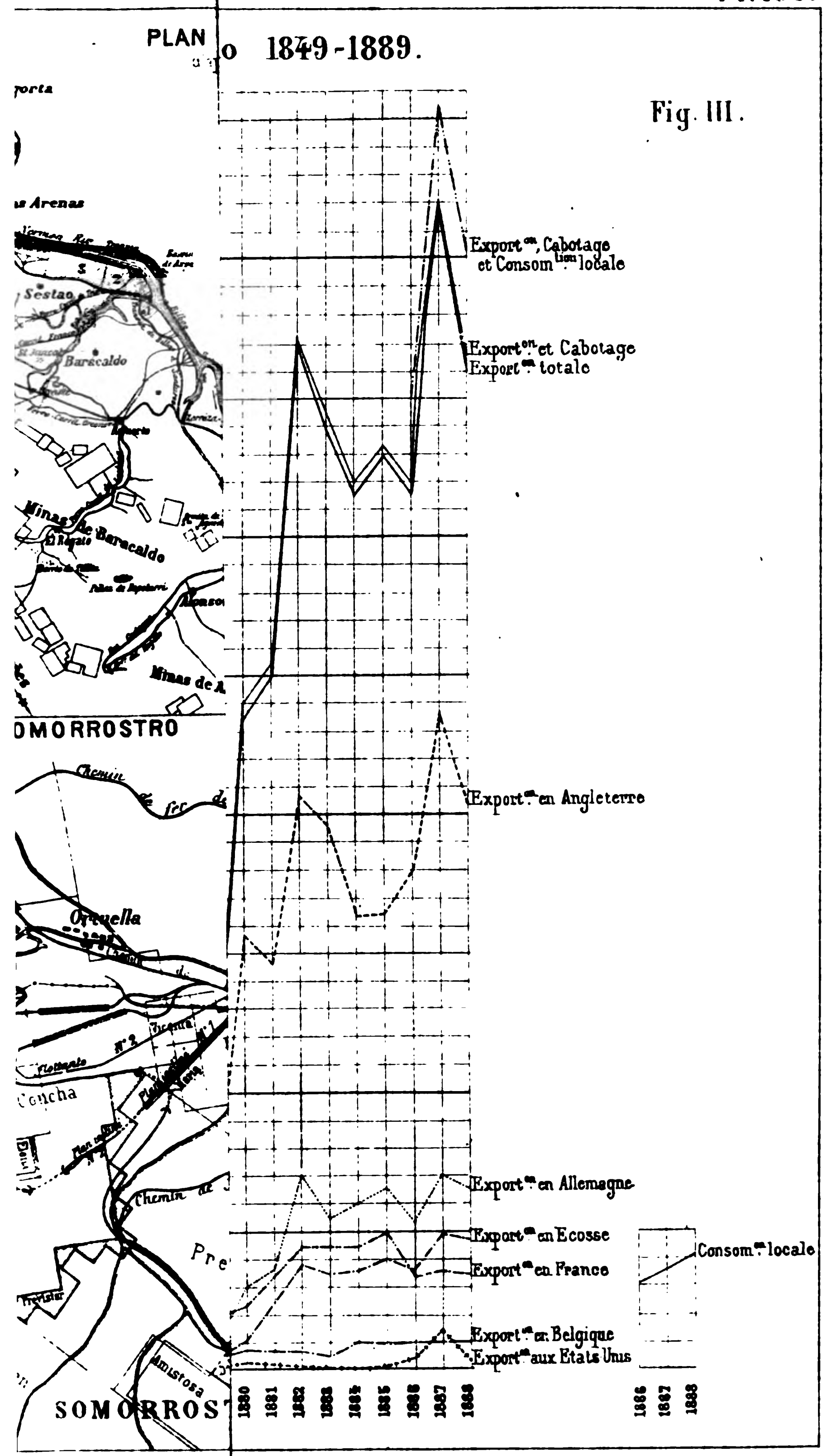
DA

Môle de Barcelone



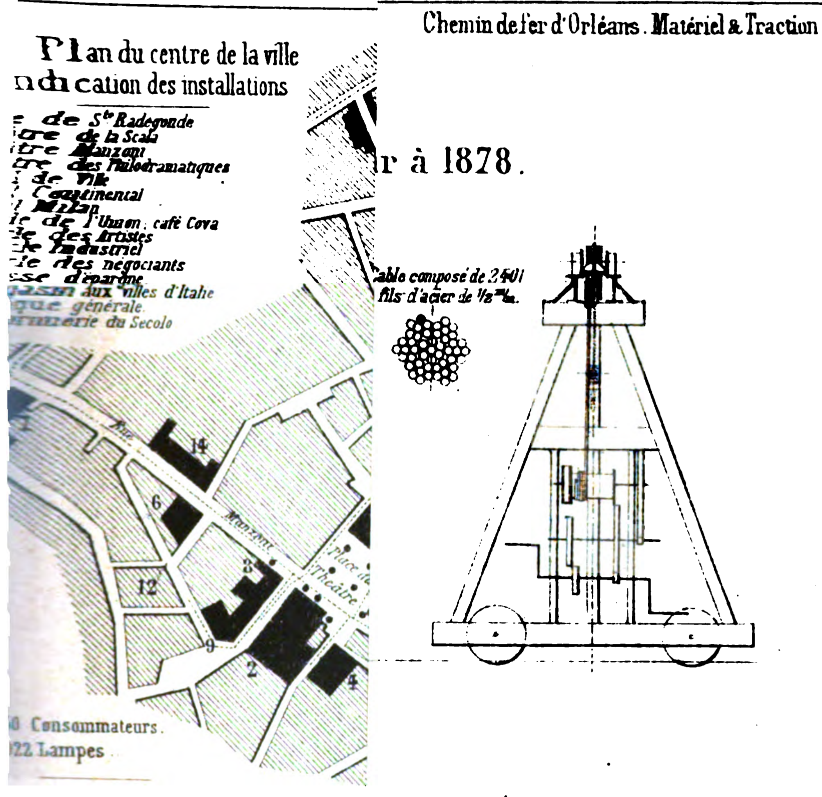
Auto. Imp. A. Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

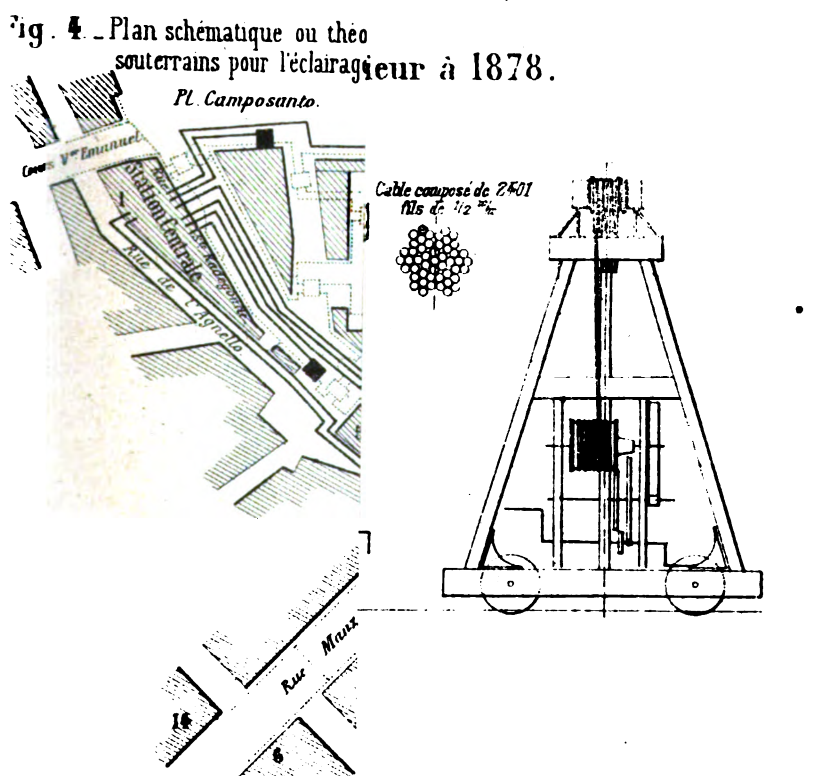
Pl. 196.

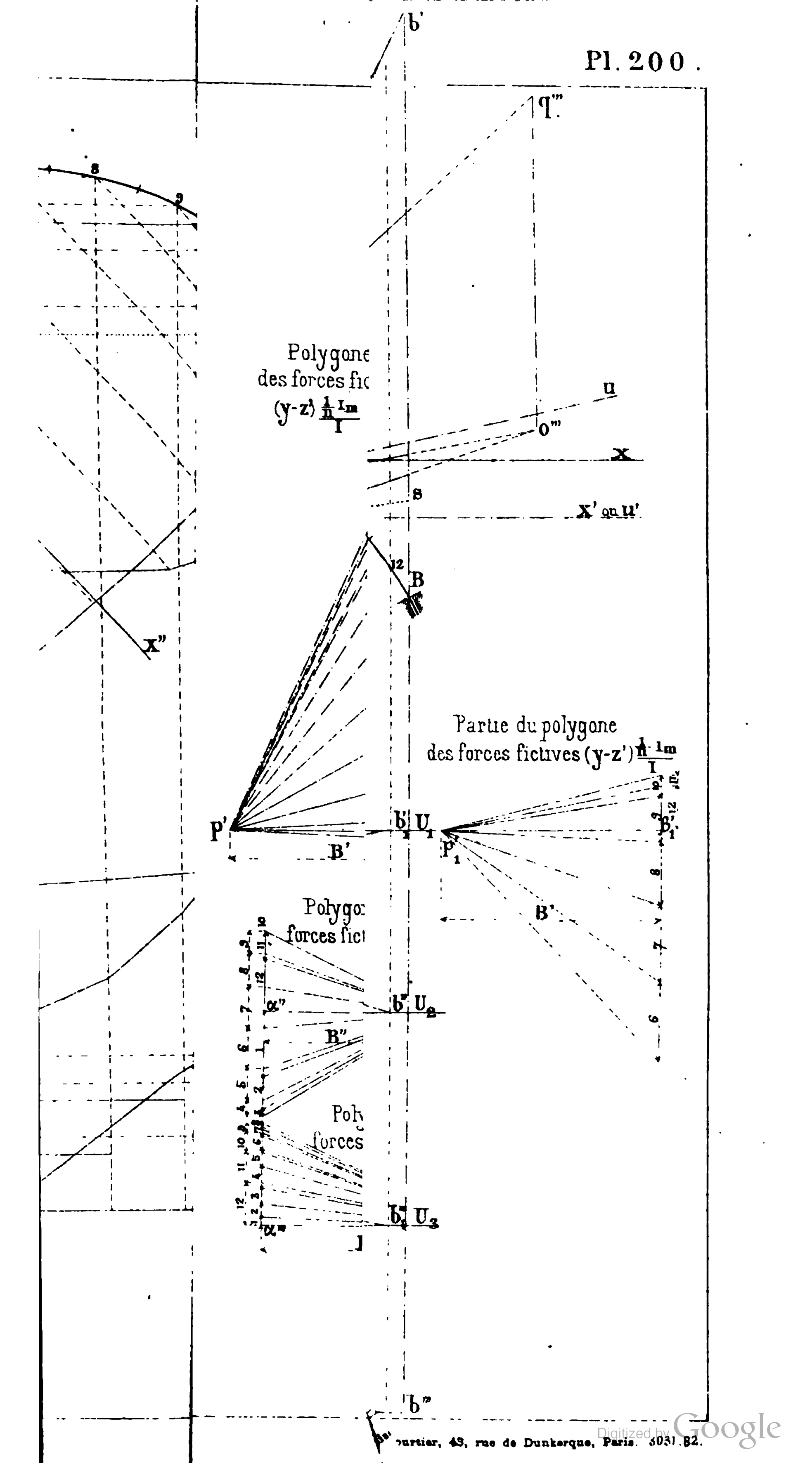

PLAN
o 1849-1889.
Fig. III.
Export.on, Cabotage et Consom.tion locale
Export.on et Cabotage
Export.on totale
Export.on en Angleterre
Export.on en Allemagne
Export.on en Ecosse
Export.on en France
Export.on en Belgique
Export.on aux Etats Unis
Consom.on locale
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1886
1887
1888
Sestao
Baracaldo
Minas de Baracaldo
OMORROSTRO
Ortuella
Concha
Chemin de fer
SOMORROSTRO

mp. A. Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

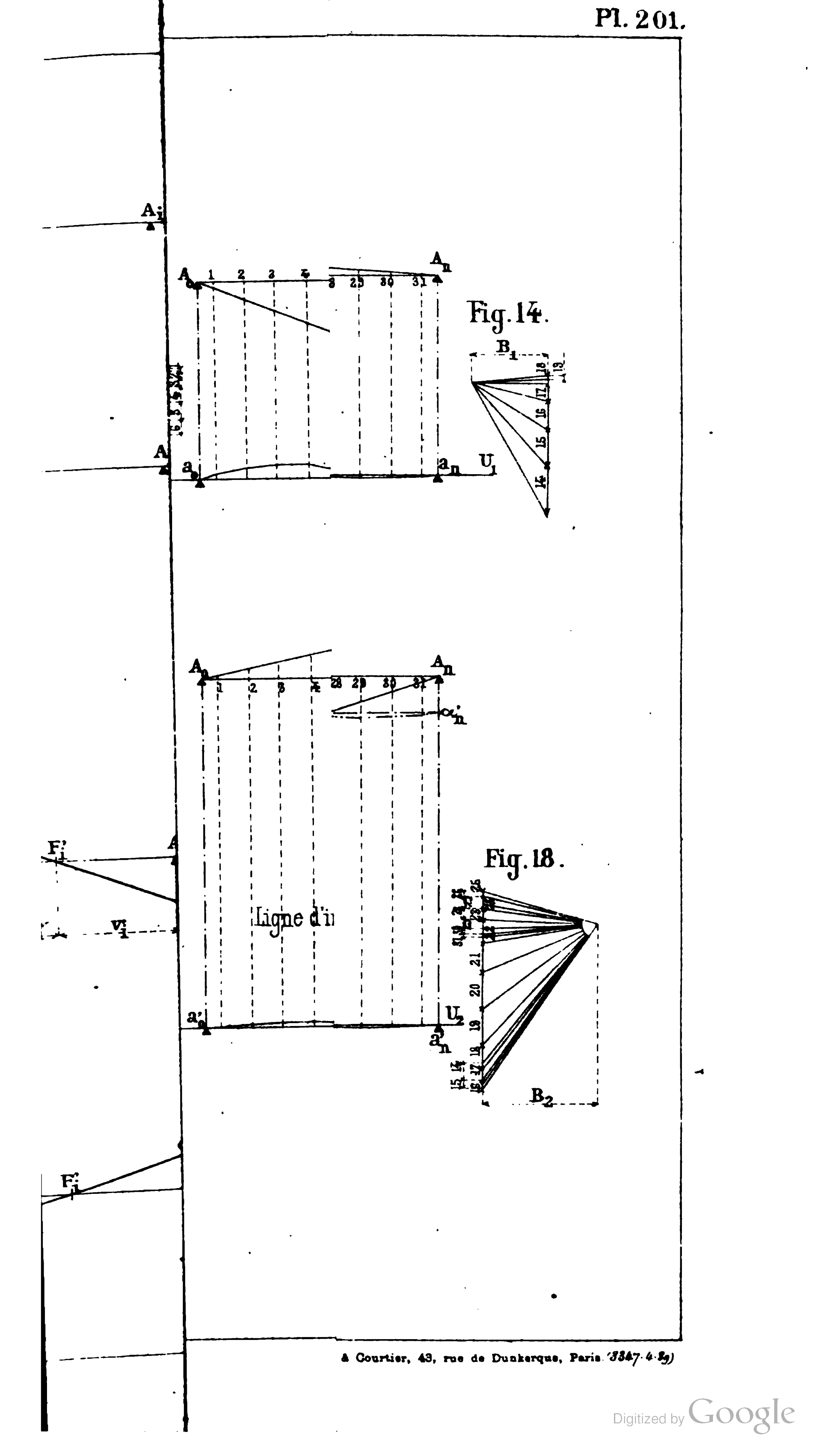
Chemin de fer d'Orléans. Matériel & Traction



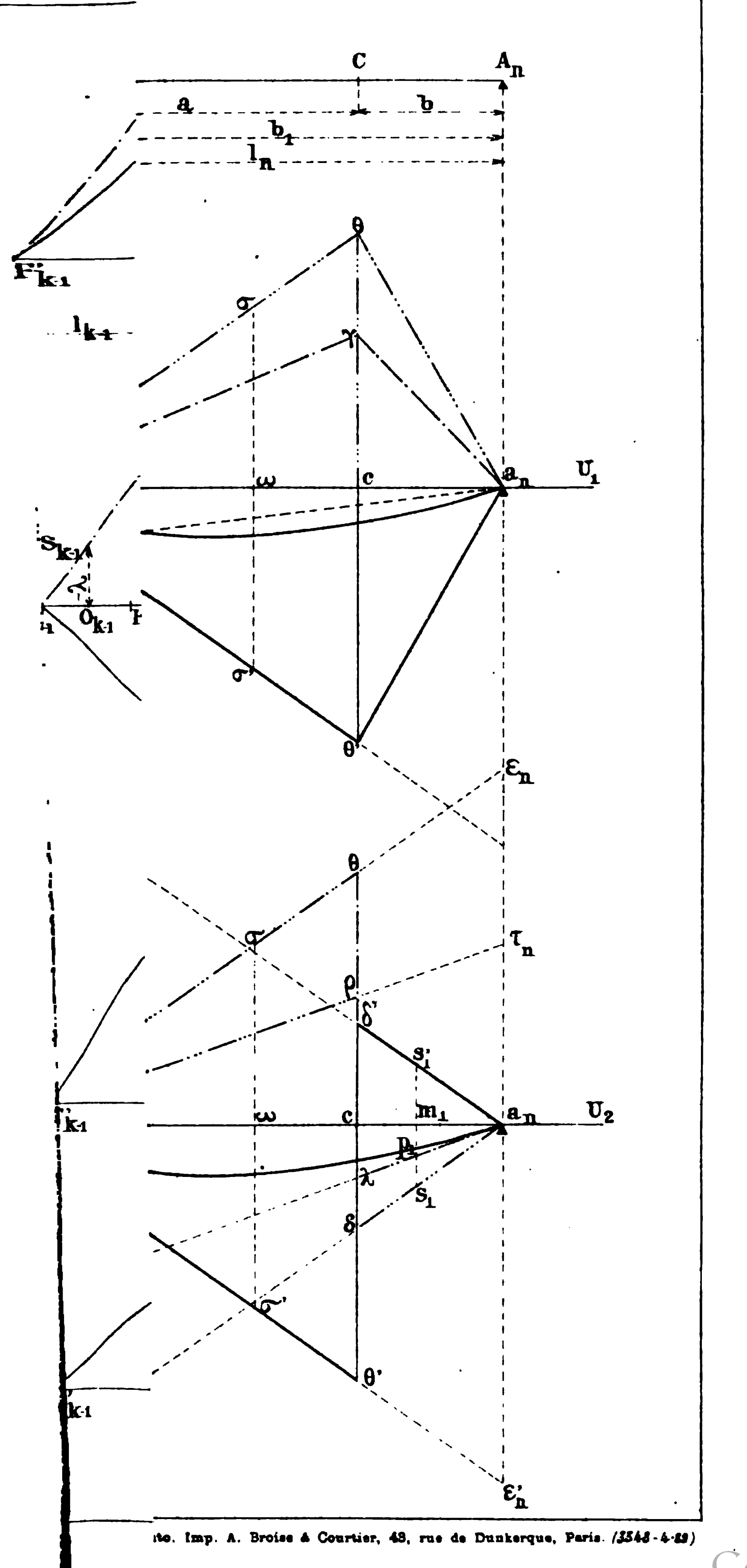




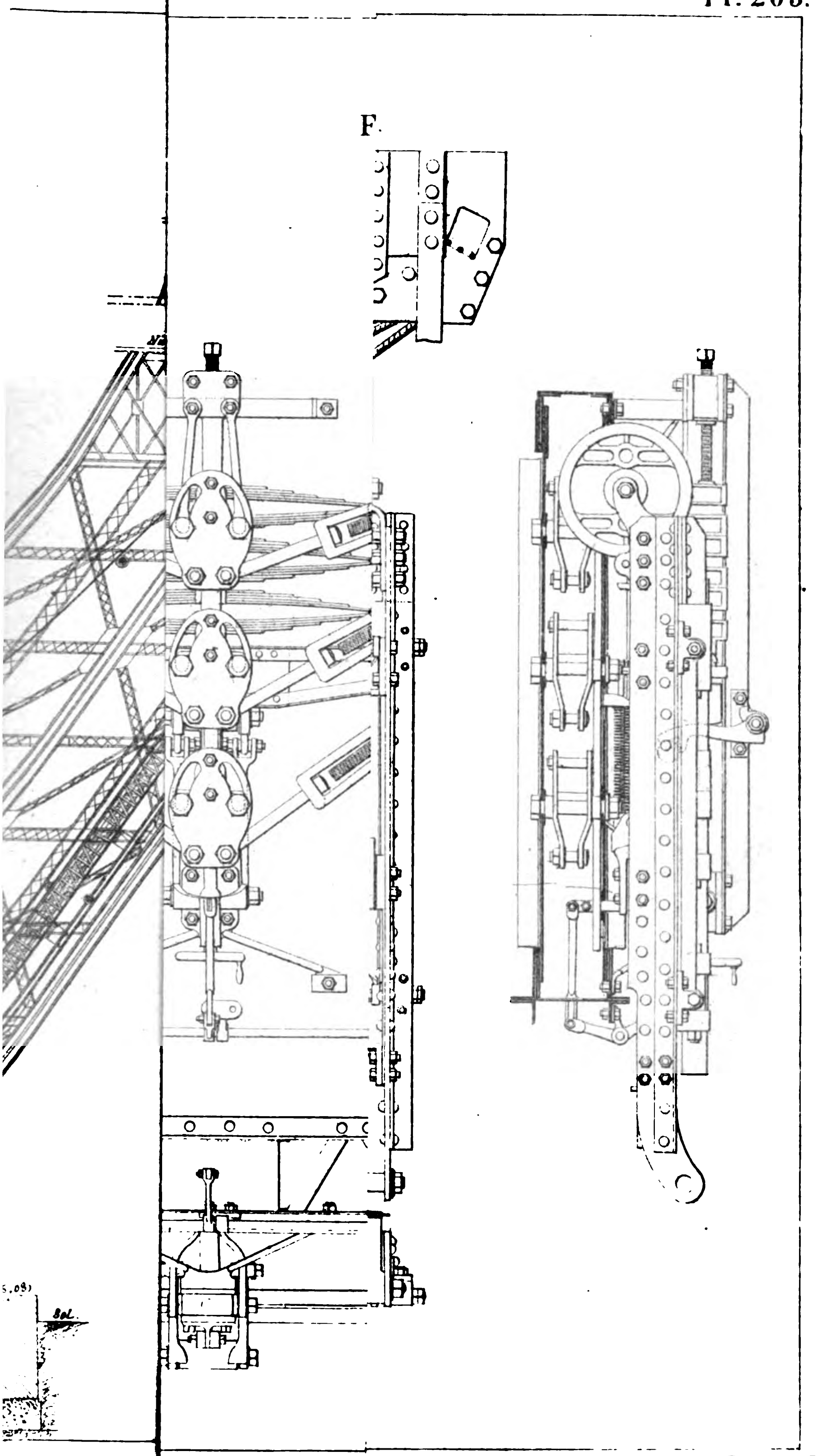
...ourtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. 5031.82.



A Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris (3347.4.89)



…ito. Imp. A. Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. (3548-4-89)

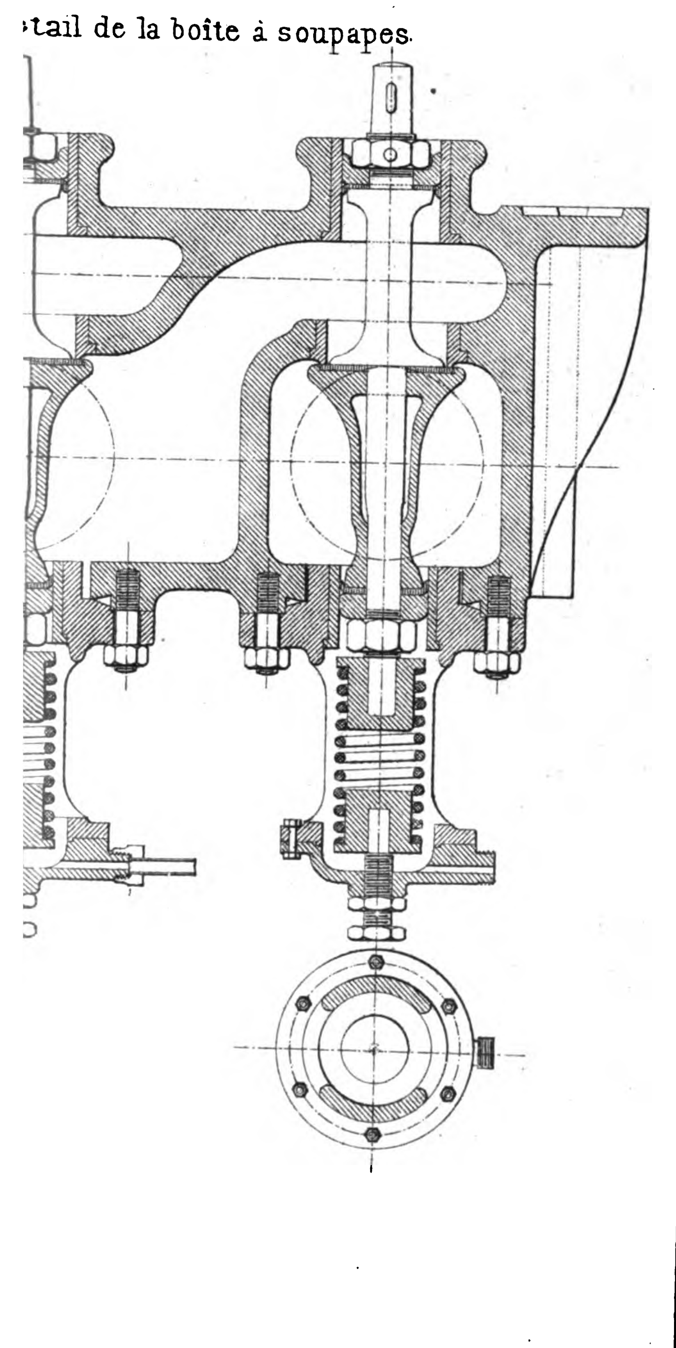


roise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

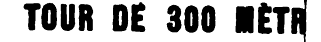
étai

Fig. 11.

·tail de la boîte à soupapes.



Auto. Imp. A. Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris 396 89



ès et des chaudières.
nsemble.

tail des supports et des gaînes des
rs ROUX, COMBALUZIER et LEPAGE.

Machine à Gaz
Ventilateur
Machines et pompes de Quillacq
Réservoirs d'eau de Source

Ascenseur Roux Com
Fig. 3. Détail des bi

& Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fig. 3. Fig. 4.

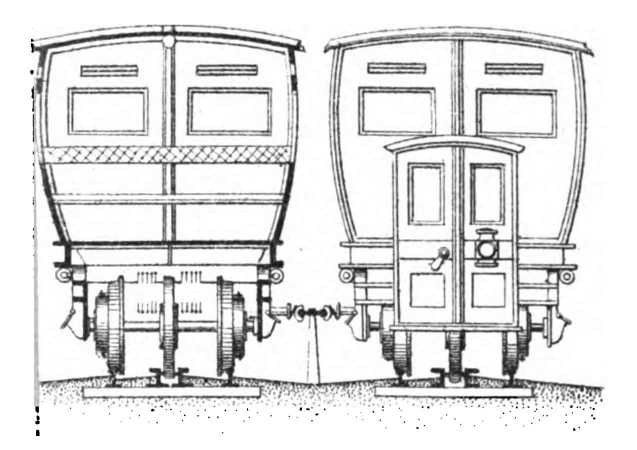


Fig. 7.

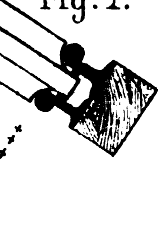
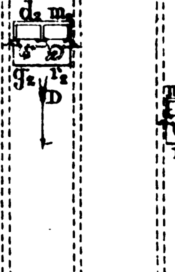


Fig. 1.



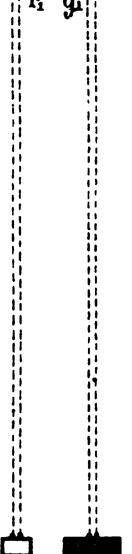
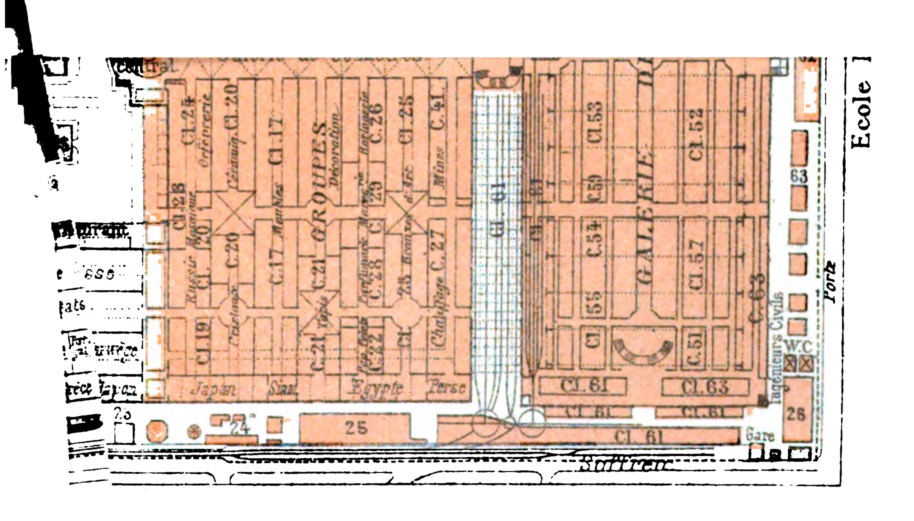


Fig. 1'

m1 d1
r1 g1
M A

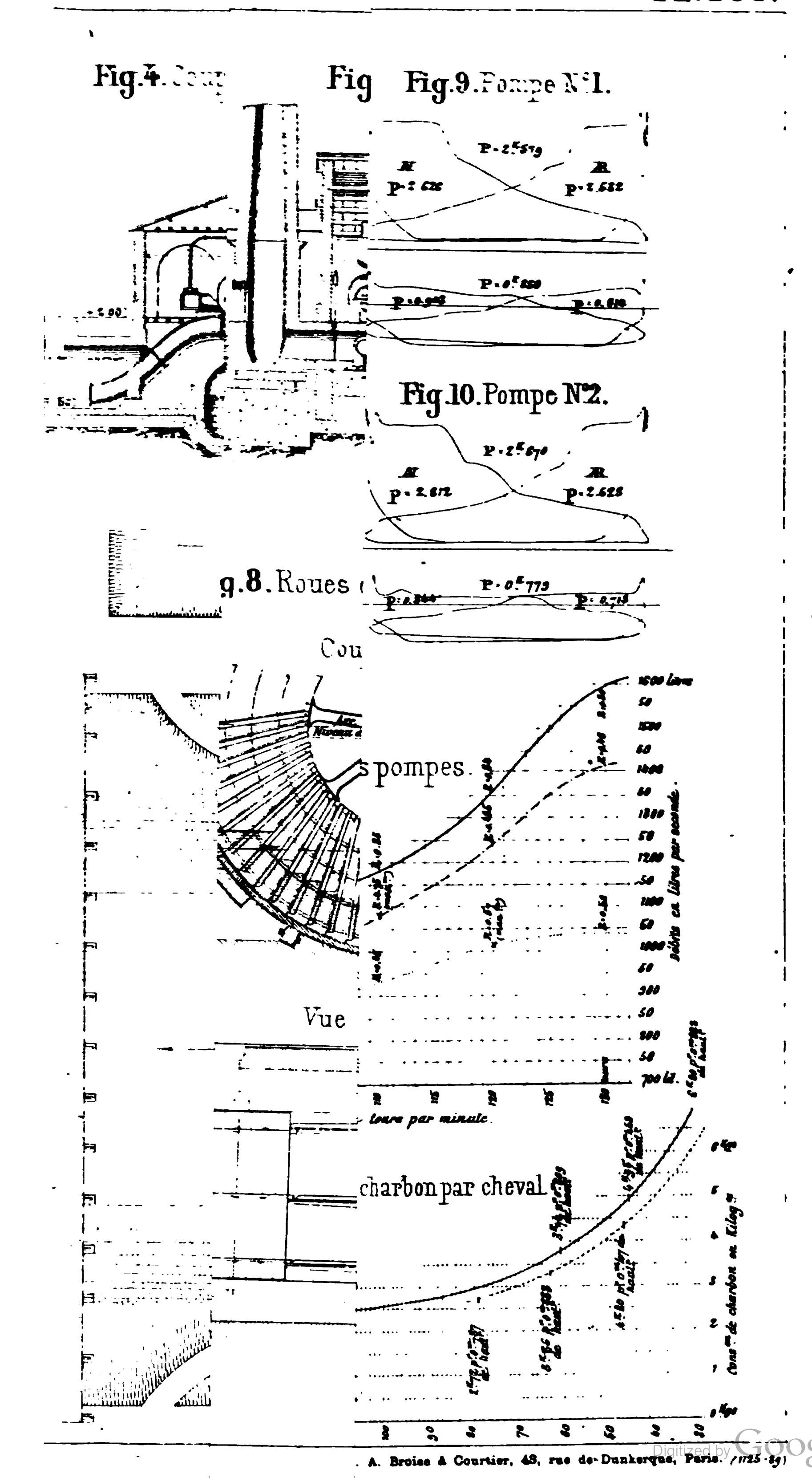
Auto. Imp. A. Broise & Courtier, 48, rue de Dunkerque, Paris. 327-89



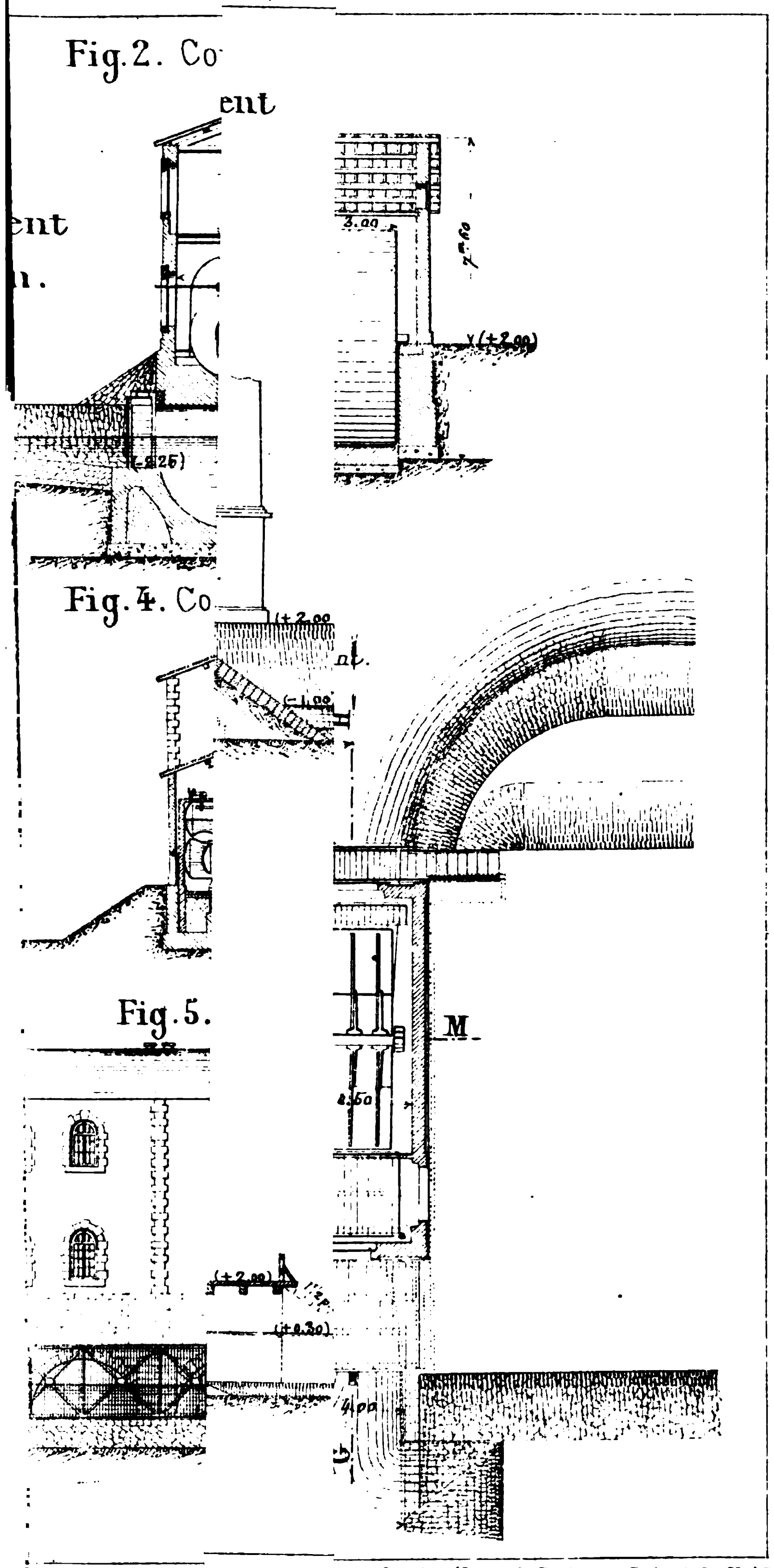
taurant
villon de égraphes.
villon de militaire.
adres et
ates Gui
ntes Tol
ntes Cat
ntes Mi
timent de la Guerre
ain sanit
ngar du Guerre.
posons de e France.
timents ablique.
villon G.
lais de l
timent d lique.
xposition s.
xposition

116 Dispensaire.
117 Restaurant populaire.
118 Ambulances urbaines.
119 Cercle ouvrier.
120 Société de participation.
121 Société Leclaire.
122 Maisons ouvrières.
123 Secours aux blessés.
124 Palais de l'Algérie.
125 Palais de la Tunisie.
126 Restaurant arabe.
127 Pagode de Villemour.
128 Palais de Madagascar.
129 Tour de Saldé.
130 Annam et Tonkin.
131 Restaurant annamite.
132 Serre.
133 Palais central des Colonies.

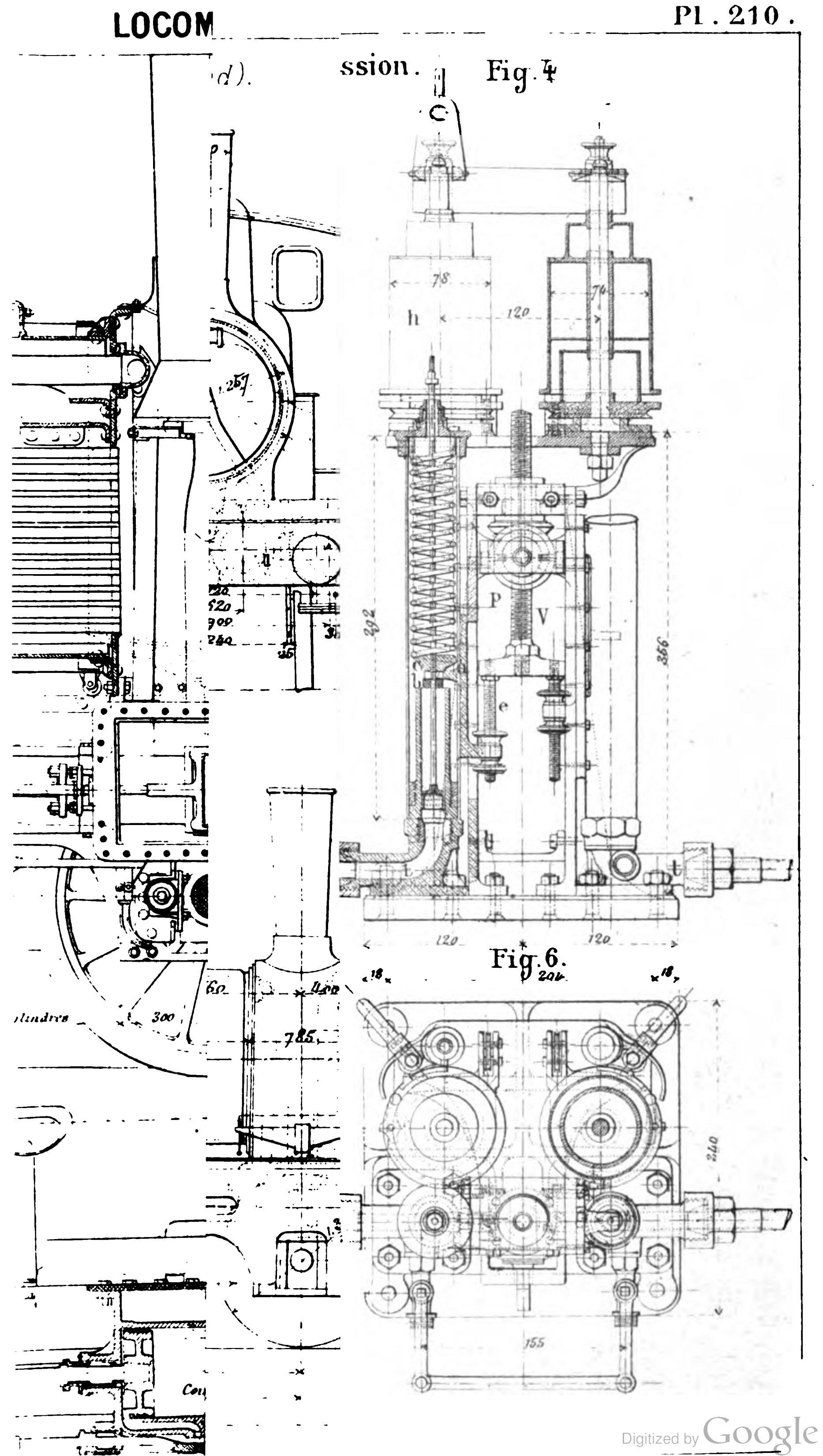
134 Village alfourou.
135 Village canaque.
136 Village pahouin.
137 Colon concessionnaire.
138 Palais de la Guyane.
139 Factorerie du Gabon.
140 Restaurant créole.
141 Indo-Chine.
142 Palais de la Guadeloupe.
143 Palais de la Martinique.
144 Village cochinchinois.
145 Théâtre annamite.
146 Pagode d'Angkor.
147 Village indien.
148 Panorama du « Tout Paris ».
149 Maison d'école modèle.
150 Chalet démontable Poitrineau.
151 Chemin de fer glissant (Système Barré).

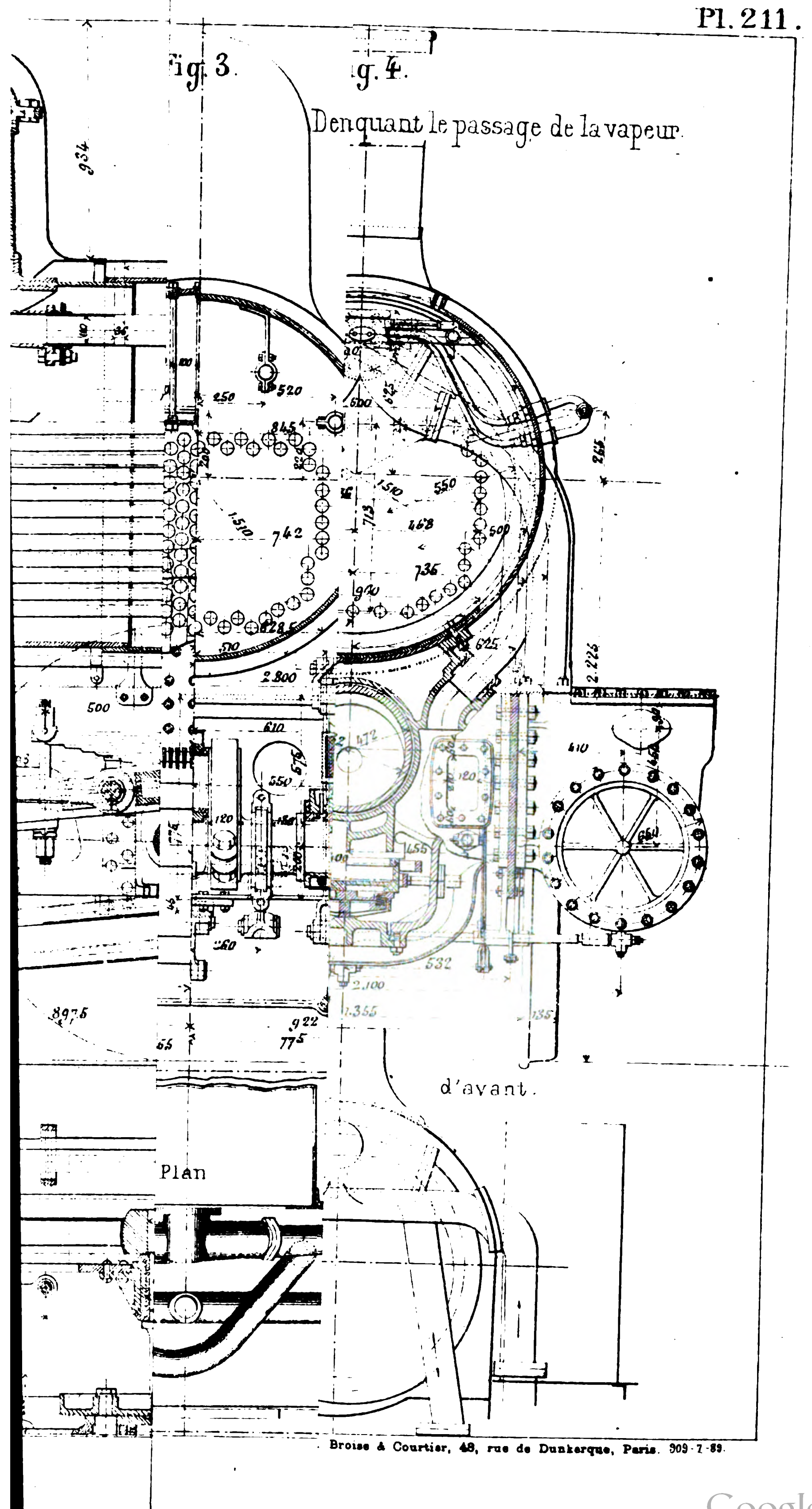


A. Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

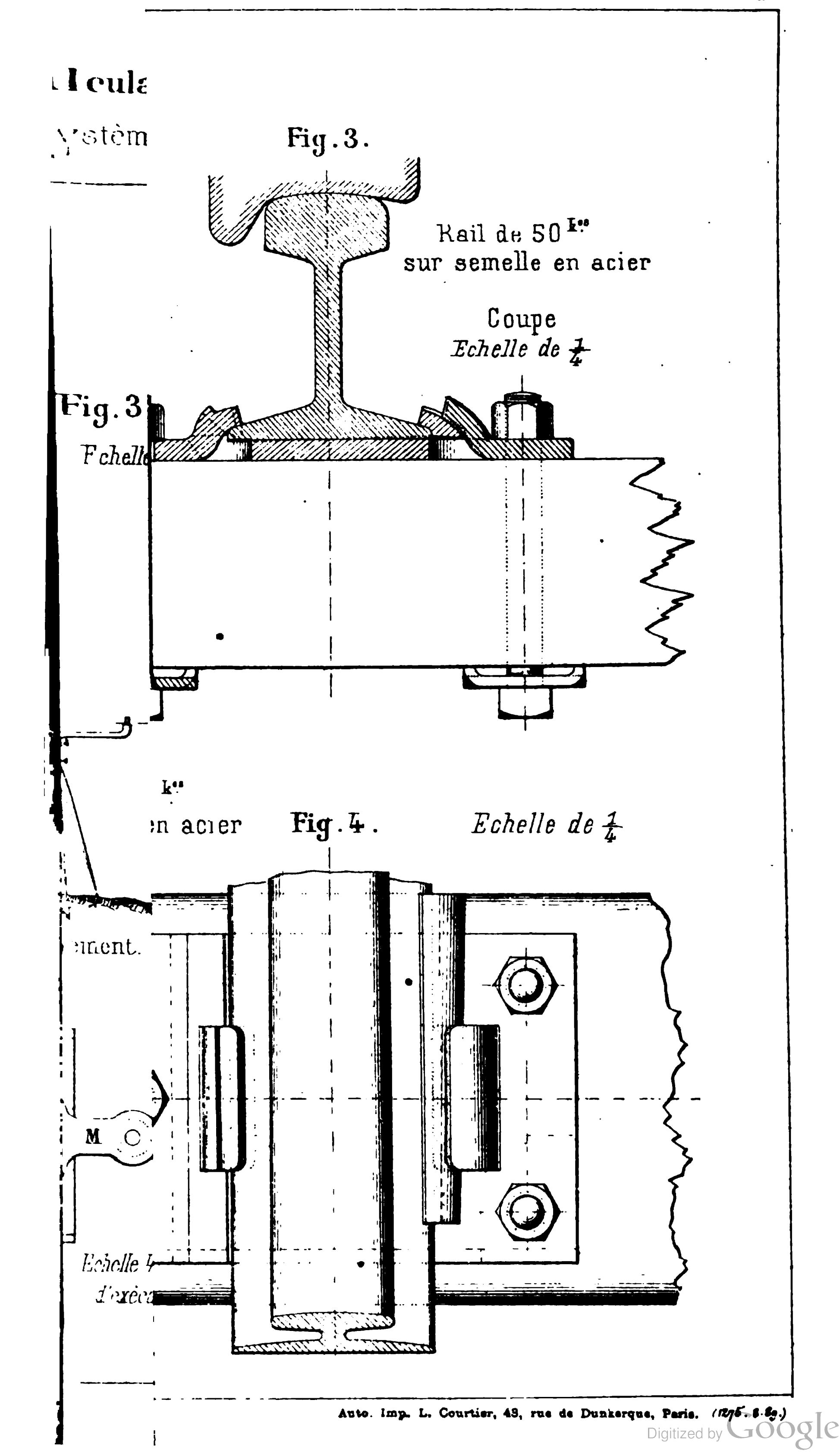


oise à Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. (126.83)

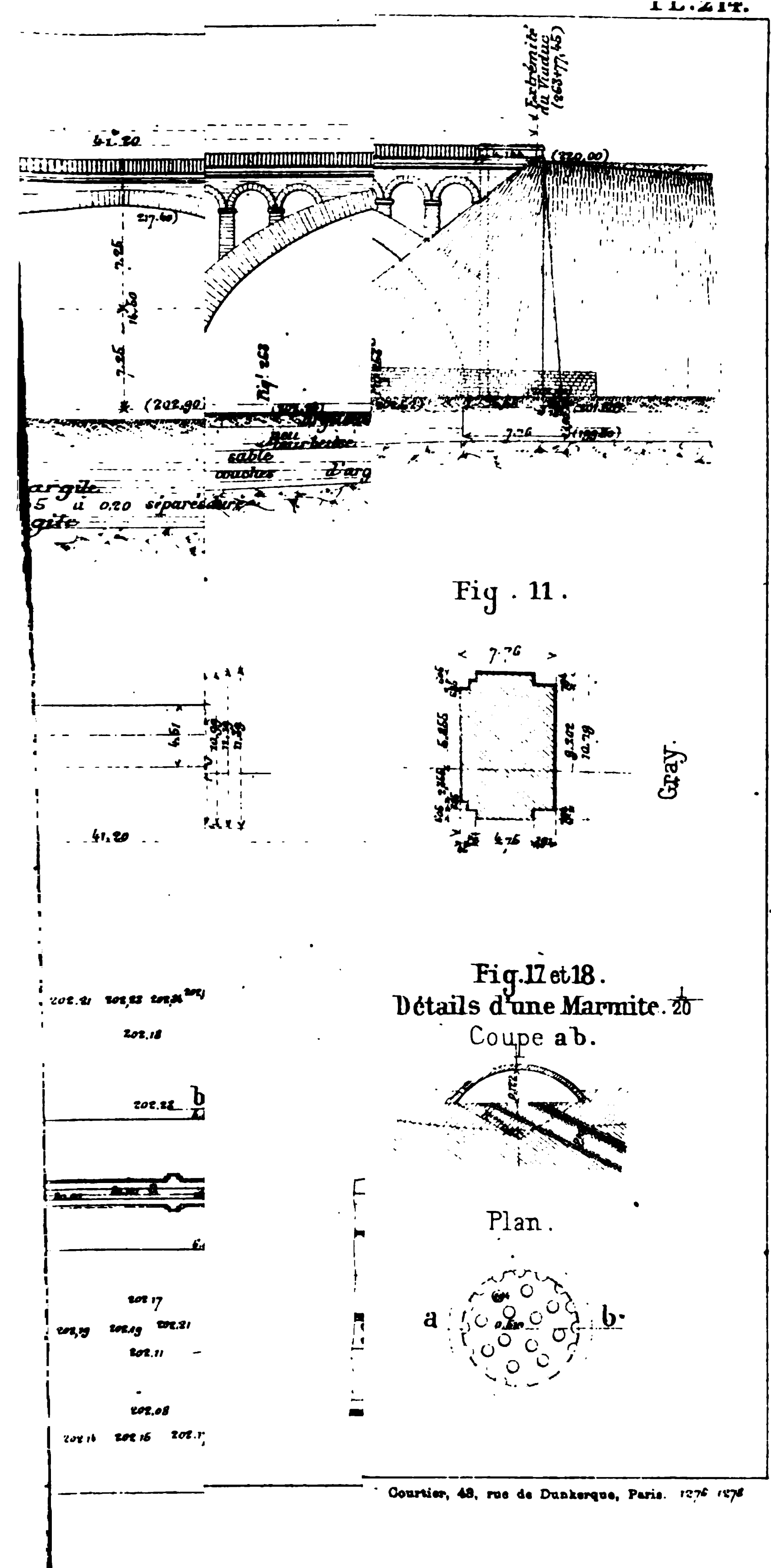

d).
ssion.
Fig. 4
C
78
74
h
120
P
V
e
292
366
120
120
Fig. 6.
18
204
18
240
155
300
785
400
60



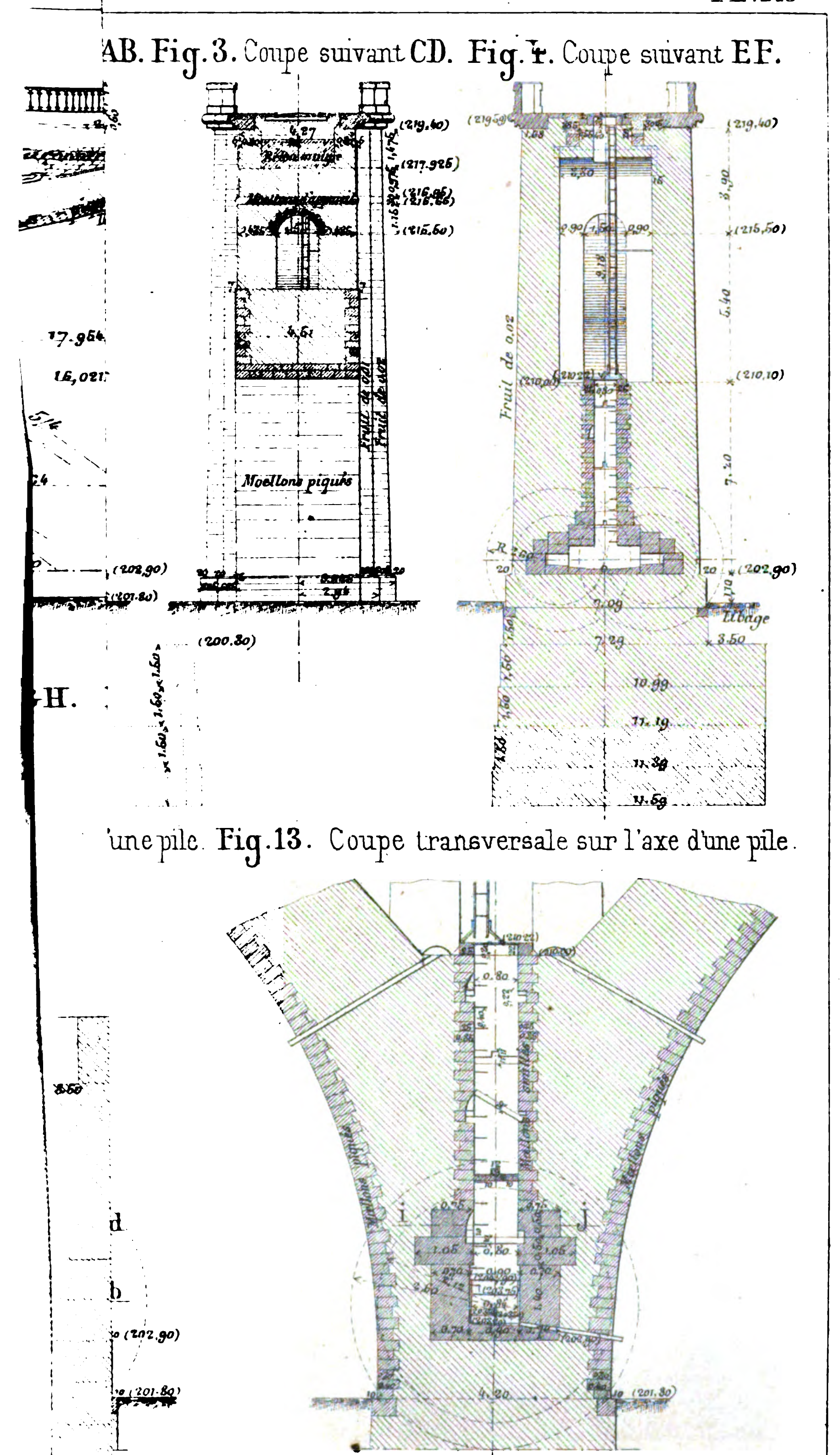
Broise & Courtier, 48, rue de Dunkerque, Paris. 909-7-89.



Auto. Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.



Courtier, 48, rue de Dunkerque, Paris. 1876 1878



Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. 1877



